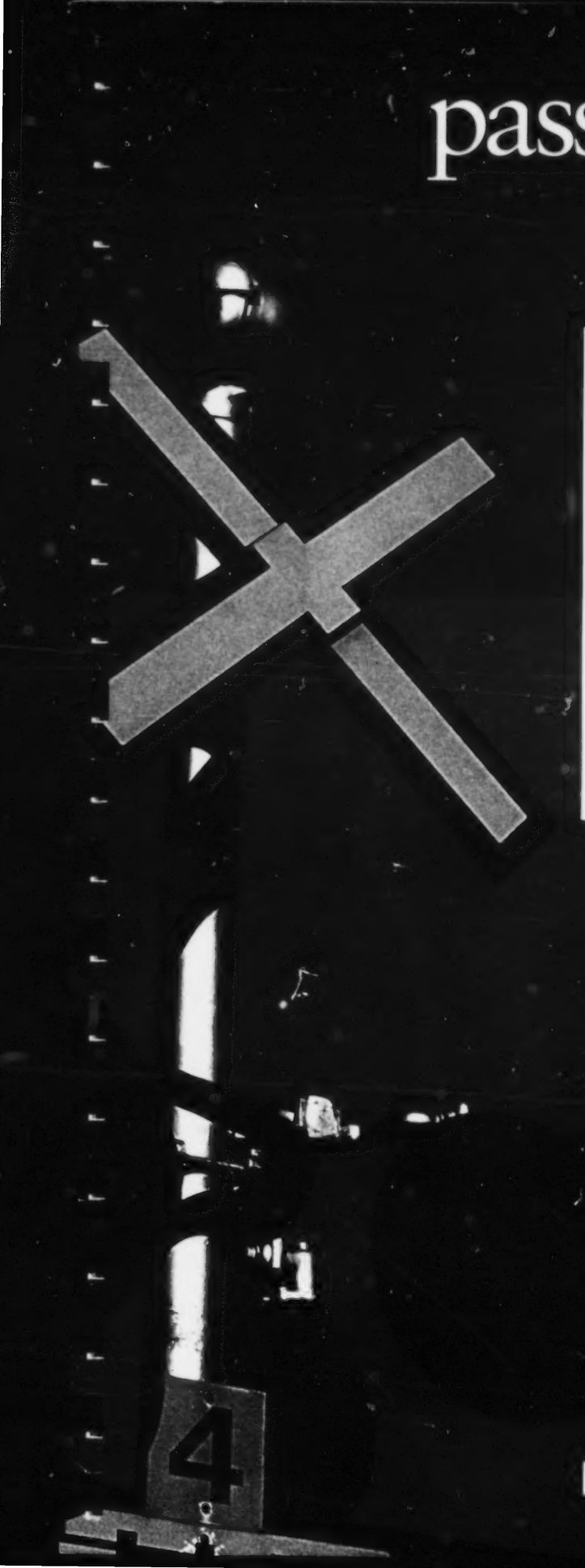
passages à niveau



TP 14172F

IMPACT DES VÉHICULES LOURDS SUR LA SÉCURITÉ AUX PASSAGES À NIVEAU – Développement d'un outil de conception adapté

Préparé pour le
Ministère des Transports du Québec

par
Centre de développement technologique
École Polytechnique de Montréal

Mai 2003

Transports Canada Transport Canada

Canada

104-03384/

TP 14172F

IMPACT DES VÉHICULES LOURDS SUR LA SÉCURITÉ AUX PASSAGES À NIVEAU – Développement d'un outil de conception adapté

Préparé pour le
Ministère des Transports du Québec

par
Centre de développement technologique
École Polytechnique de Montréal

Mai 2003

TP 14172F

IMPACT DES VÉHICULES LOURDS SUR LA SÉCURITÉ AUX PASSAGES À NIVEAU – Développement d'un outil de conception adapté

par
Michel Gou, ing., M.Sc.A.
Olivier Bellavigna-Ladoux, ing. M. Ing.

avec la collaboration de
Étienne Dumont-MacKay
Département de génie mécanique
Centre de développement technologique
École Polytechnique de Montréal

Mai 2003

Les points de vue exprimés par les auteurs dans le présent rapport ne sont pas nécessairement ceux des parrains du Programme de recherche sur les passages à niveau.

Les organismes parrains ne font pas la promotion de produits ou de fabricants. Ce n'est que pour servir les objectifs essentiels à ce rapport qu'on y mentionne des appellations commerciales ou noms de fabricants.

Partenaires financiers

Programme de recherche sur les passages à niveau de Direction 2006

Transports Canada
Association des chemins de fer du Canada
Canadien National
Canadien Pacifique
Via Rail Canada Inc.
Alberta Transportation
Ministère des Transports du Québec

This report is also available in English under the title «*Impact of Heavy Vehicles on Crossing Safety – Development of an Adapted Design Tool*», TP 14172E.

Transports Canada Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 14172F	–	

4. Titre et sous-titre

Impact des véhicules lourds sur la sécurité aux passages à niveau – Développement d'un outil de conception adapté

5. Date de la publication

Mai 2003

6. N° de document de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)

M. Gou, O. Bellavigna-Ladoux et É. Dumont-Mackay

8. N° de dossier - Transports Canada

–

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant

Centre de développement technologique
École Polytechnique de Montréal, Campus de l'Université de Montréal
Case postale 6079, succ. Centre-ville
Montréal (Québec)

10. N° de dossier - TPSGC

–

11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada

–

12. Nom et adresse de l'organisme parrain

Centre de développement des transports (CDT)
800, boul. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec)
H3B 1X9

Ministère des Transports du Québec
700, boul. René-Lévesque Est
24e étage
Québec (Québec)
G1R 5H1

13. Genre de publication et période visée

Finale

14. Agent de projet

Sesto Vespa et Allen Jones

15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

Ce projet a été financé par le Ministère des Transports du Québec; l'édition du rapport a été effectuée par le CDT dans le cadre du Programme de recherche sur les passages à niveau.

16. Résumé

Dans le cadre de ce projet réalisé à la demande de Transports Québec et visant à mesurer l'impact des véhicules lourds sur la sécurité aux passages à niveau, nous avons procédé à des essais pour mesurer les temps d'accélération et les distances de freinage de diverses classes de véhicules lourds utilisées dans le calcul des triangles de visibilité des passages à niveau. Les résultats obtenus, après avoir été exploités dans un modèle mathématique ont été utilisés pour développer un outil de conception et de vérification des passages à niveau qui pourra être intégré au projet de norme RTD 10 intitulé «Normes techniques et exigences concernant l'inspection, les essais et l'entretien des passages à niveau rail-route».

Des recommandations ont été émises au sujet de l'intégration de l'outil au projet RTD 10, de l'utilisation d'unités de mesures uniformes et du retrait des temps de référence fixes dans le RTD 10, ainsi que de l'abolition des règlements portant sur l'interdiction de changer de vitesse aux passages à niveau.

17. Mots clés	18. Diffusion
Heavy vehicles, grade crossings, safety, sight triangles, acceleration time, braking distance, RTD 10.	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	—	xii, 81, ann.	Port et manutention

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 14172F	–	

4. Title and Subtitle

Impact des véhicules lourds sur la sécurité aux passages à niveau – Développement d'un outil de conception adapté

5. Publication Date

May 2003

6. Performing Organization Document No.

7. Author(s)

M. Gou, O. Bellavigna-Ladoux, and É. Dumont-Mackay

8. Transport Canada File No.

–

9. Performing Organization Name and Address

Centre de développement technologique
École Polytechnique de Montréal, Campus de l'Université de Montréal
Case postale 6079, succ. Centre-ville
Montréal (Québec)
H3C 3A7

10. PWGSC File No.

–

11. PWGSC or Transport Canada Contract No.

–

12. Sponsoring Agency Name and Address

Transportation Development Centre (TDC)
800 René Lévesque Blvd. West
Suite 600
Montreal, Quebec
H3B 1X9

Ministère des Transports du Québec
700, boul. René-Lévesque Est
24e étage
Québec, Québec
G1R 5H1

13. Type of Publication and Period Covered

Final

14. Project Officer

Sesto Vespa and Allen Jones

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

This project was funded by Ministère des Transports du Québec, publishing of the report was done by TDC under the Highway-Railway Grade Crossing Program.

16. Abstract

As part of a study commissioned by Transport Quebec aimed at evaluating the impact of heavy vehicles on the safety of railway crossings, we tested various classes of heavy vehicles to determine their acceleration and braking performances used in calculating sight triangles at railway crossings. After being applied in a mathematical model, the acceleration testing results were used to develop a railway crossings design and verification tool to be integrated into the RTD 10 standards, entitled "Road/Railway Grade Crossings: Technical Standards and Inspection, Testing and Maintenance Requirements".

Recommendations were presented on integrating the tool into RTD 10, using uniform units of measure, removing fixed crossing reference times in RTD 10, and abolishing regulations restricting the shifting of gears while crossing railway tracks.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Véhicules lourds, passages à niveau, sécurité, triangles de visibilité, temps d'accélération, distance de freinage, RTD 10	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	—	xii, 81, apps	Shipping/ Handling

REMERCIEMENTS

Nous désirons remercier l'administration du Centre de formation en transport routier (CFTR) de la commission scolaire de la Rivière du Nord et particulièrement son directeur, Benoît Rochon, qui a bien voulu mettre à notre disposition les installations et les véhicules du CFTR pour la réalisation des essais. De plus, nous désirons remercier spécialement Alain Côté, formateur au CFTR qui a toujours été disponible pour conduire les véhicules et qui, sans compter ses heures, s'est prêté de bonne grâce à toutes nos demandes tout en apportant son expérience à la réalisation des essais.

Nous désirons aussi remercier Les Entreprises Brasseur Transports, Autocar Chartrand et Autobus Paquette & Fils pour leur participation aux essais.

Nous tenons également à remercier les membres du comité de suivi du projet pour leur aide et bons conseils tout au long de nos travaux. Le comité de suivi était composé de : Allen Jones (Transports Québec), Daniel Lafontaine, Anthony Napoli, René Turgeon et Sesto Vespa, tous de Transports Canada.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du Programme de recherche sur les passages à niveau, une initiative coparrainée par Transports Canada, les grandes compagnies de chemin de fer canadiennes et plusieurs autorités provinciales. Ce programme est un volet de Direction 2006, un regroupement d'intervenants dont le but est de diminuer de moitié d'ici 2006 le nombre d'accidents survenant à des passages à niveau.

SOMMAIRE

Dans le cadre de ce projet réalisé à la demande de Transports Québec et visant à mesurer l'impact des véhicules lourds sur la sécurité aux passages à niveau, nous avons procédé à des essais pour mesurer les temps d'accélération et les distances de freinage de divers véhicules lourds (autobus, camions et tracteurs semi-remorques) typiques. L'objectif de ces essais était d'identifier les performances typiques en freinage et accélération de diverses classes de véhicules lourds utilisées dans le calcul des triangles de visibilité des passages à niveau. Les résultats obtenus ont ensuite été utilisés pour développer un outil de conception et de vérification des passages à niveau qui pourra être intégré à la nouvelle norme RTD 10.

Vingt et un véhicules lourds différents ont donc été soumis aux essais qui se sont étendus sur la période allant du 3 août 2002 au 11 février 2003. Les essais ont été réalisés au Québec sur les pistes d'essais du Centre de formation en transport routier (CFTR) de la commission scolaire de la Rivière du Nord, sur les pistes d'essais de PMG Technologies à Blainville, sur huit passages à niveau dans la région comprise entre Blainville et Saint-Jérôme ainsi que sur un passage à niveau forestier à La Tuque. Des essais de freinage ont été réalisés sur piste en asphalte mouillée, tandis que des essais d'accélération ont été effectués sur piste en asphalte sèche et sur des sites de passages à niveau secs. En particulier, nous avons effectué des essais d'accélération à partir de la ligne d'arrêt jusqu'à la ligne de dégagement sur les neuf passages à niveau typiques utilisés.

Les résultats ainsi obtenus ont été exploités lors de l'élaboration d'un modèle mathématique de l'accélération des véhicules lourds selon les caractéristiques techniques des véhicules. La modélisation a ensuite permis d'identifier les classes de véhicules types devant être retenues ainsi que les pires performances d'accélération associées à chaque classe de véhicule type. De plus, les résultats des essais de freinage ont permis d'identifier les performances typiques de freinage devant être retenues pour ces véhicules lourds. Afin de mieux refléter les conditions réelles de conduite, les performances d'accélération et de freinage identifiées ont été combinées avec divers critères associés aux temps de perception/réaction des conducteurs, à leur habileté à changer les rapports de transmission ainsi qu'à freiner efficacement. De même, des facteurs de sécurité ont été appliqués aux performances des conducteurs et à la vitesse des véhicules de manière à mieux refléter leurs vitesses réelles de déplacement.

L'ensemble de ces performances typiques permet de tracer les triangles et les lignes de visibilité pour les passages à niveau, selon le type de véhicule lourd et le profil de la route à l'approche et à la sortie de la traversée. Les temps de franchissement sont présentés sous forme d'abaques alors que les distances de visibilité de freinage sont présentées sous forme de tableaux. Ces abaques et ces tableaux présentent, des profils de route typiques avec pentes de 2 p. cent et 5 p. cent. Pour tout autre profil de route, un calcul simple par extrapolation peut être effectué. Cette procédure peut donc être adaptée aux véhicules commerciaux de toutes configurations, de tous poids et de toutes dimensions et à toutes les caractéristiques opérationnelles, conditions routières, vitesses de camions et de trains, et conditions météorologiques normales. L'outil développé permet donc le calcul des triangles et lignes de visibilité et s'intègre au projet de norme RTD 10 publié par la Direction de la sécurité ferroviaire de Transports Canada (24 juillet 2001) et intitulé «Normes techniques et exigences concernant l'inspection, les essais et l'entretien des passages à niveau rail-route».

Pour l'utilisateur, l'outil final se présente donc sous la forme de tableaux des distances de visibilité d'arrêt et d'abaques des temps de franchissement. Les tableaux des distances de visibilité d'arrêt présentent des résultats selon le profil de la route, sa limite de vitesse et le type de frein du véhicule lourd (système de frein antiblocage ABS ou non). De leur côté, les abaques des temps de franchissement présentent des résultats en fonction du véhicule type, du profil de la route, de la distance de dégagement du passage à niveau et de la possibilité de changer de vitesse ou non. Des méthodes d'utilisation des abaques sont

également proposées pour les véhicules de type citernes, pour les passages à niveau offrant une intersection routière à proximité ainsi que pour les passages à niveau dont la surface de passage est en mauvais état.

Des recommandations sont finalement émises au sujet de l'intégration de l'outil au projet RTD 10, de l'utilisation d'unités de mesures uniformes et du retrait des temps de référence fixes dans le RTD 10, ainsi que de l'abolition des règlements portant sur l'interdiction de changer de vitesse aux passages à niveau.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 1

1. SÉCURITÉ AUX PASSAGES À NIVEAU – ÉTAT DE LA SITUATION 3
   1.1 Organismes responsables 3
      1.1.1 Transports Canada 3
      1.1.2 Centre de développement des transports (CDT) 4
      1.1.3 Direction 2006 4
      1.1.4 Opération Gareautrain 4
      1.1.5 Ministère des Transports du Québec (MTQ) 4
      1.1.6 Bureau de la sécurité dans les transports (BST) 5
      1.1.7 Federal Railroad Administration (FRA) des États-Unis 5
      1.1.8 Federal Highway Administration (FHWA) – Département des transports américain 5
      1.1.9 National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis 5
      1.1.10 Volpe Center 6
   1.2 Collisions aux passages à niveau 6
      1.2.1 Rapports d'enquête de collisions du BST 9
      1.2.2 Facteurs techniques contributifs liés à la configuration et à la conception 13
         1.2.2.1 Ligne de visibilité pour véhicule à l'arrêt 14
         1.2.2.2 Ligne de visibilité pour véhicule circulant à la vitesse légale 15
         1.2.2.3 Entretien des lignes de visibilité 16
         1.2.2.4 Problèmes de communication et autres facteurs techniques 16
      1.2.3 Facteurs humains contributifs 17
         1.2.3.1 Prise de risque 17
         1.2.3.2 Inattention 18
         1.2.3.3 Comportement non sécuritaire inconscient 19
         1.2.3.4 Autres facteurs 20
      1.2.4 Facteurs environnementaux et circonstanciels contributifs 20
   1.3 Réglementation en vigueur 21
      1.3.1 Normes canadiennes de conception géométrique des routes 21
         1.3.1.1 Passages à niveau 22
         1.3.1.2 Temps de perception-réaction des conducteurs 23
      1.3.2 Normes de charges et dimensions des véhicules lourds 24
      1.3.3 Projet RTD 10 – Normes techniques et exigences concernant l'inspection, les essais et l'entretien des passages à niveau rail-route 25
         1.3.3.1 Choix d'un véhicule type 25
         1.3.3.2 Distance de visibilité d'arrêt 26
         1.3.3.3 Distance de dégagement des passages à niveau 29
         1.3.3.4 Temps de passage du véhicule type à partir de l'arrêt 30
         1.3.3.5 Emplacement des passages à niveau, surface de croisement et géométrie de la route 32
         1.3.3.6 Lignes de visibilité 34
         1.3.3.7 Délai d'avertissement 37
      1.3.4 Réglementations provinciales concernant les arrêts obligatoires et l'interdiction de changer de vitesse aux passages à niveau 38

1.4 Études sur l'accélération et le freinage des véhicules lourds 41
1.4.1 Accélération 41
1.4.2 Freinage 47
1.4.3 Recommandations 51
1.4.3.1 Aspects techniques 51
1.4.3.2 Aspects humains 52

2. Essais d'accélération et de freinage de véhicules lourds 55
2.1 Véhicules d'essais 55
2.2 Essais d'accélération 56
2.3 Essais de freinage 60

3. Résultats d'interviews avec des conducteurs 63

4. Création d'un outil de conception et de vérification des passages à niveau 65
4.1 Modélisation mathématique de l'accélération 65
4.2 Abaques de calcul des temps de passage à partir de l'arrêt 68
4.3 Détermination des distances de visibilité d'arrêt 70
4.4 Exemples d'utilisation de l'outil 72
4.4.1 Calcul du triangle de visibilité à l'arrêt 73
4.4.2 Calcul du triangle de visibilité à l'approche 74
4.4.3 Calcul du délai d'avertissement pour passages à niveau actifs 75
4.4.4 Calcul du délai de descente des barrières 75

5. Conclusions et recommandations 77

Ouvrages cités et bibliographie 79

Annexe A Abaques des temps de passage à partir de l'arrêt
Annexe B Projet spécial – Franchissement des passages à niveau par des véhicules lourds à châssis surbaissés
Annexe C Règlements des diverses provinces concernant l'arrêt obligatoire et l'interdiction de changer de vitesse aux passages à niveau

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Nombre de collisions aux passages à niveau entre 1990 et 2000	6
Tableau 2	Actes non sécuritaires et intentionnels de 1999 à 2000	8
Tableau 3	Actes non sécuritaires et non intentionnels de 1999 à 2000	9
Tableau 4	Conditions internes non sécuritaires de 1998 à 2001	9
Tableau 5	Analyse des descriptions d'accidents de la base de données RODS	10
Tableau 6	(Tableau 2.3.13.1 des Normes de conception géométriques) – Différence de pente entre le plan des rails et la route	22
Tableau 7	(Tableau 1.2.2.1 des Normes de conception géométriques) – Domaine de conception du temps de perception et de réaction	23
Tableau 8	Classes de véhicules (projet RTD 10)	26
Tableau 9	Sélection du véhicule type (projet RTD 10)	27
Tableau 10	Formule de calcul de la distance de visibilité d'arrêt (projet RTD 10)	28
Tableau 11	Distances de visibilité d'arrêt (projet RTD 10)	28
Tableau 12	Rapport entre le temps d'accélération et la déclivité (projet RTD 10)	31
Tableau 13	Lignes de visibilité le long des voies ferrées (projet RTD 10)	37
Tableau 14	Résultats de l'étude de Kendall & Morrissette, 1995	42
Tableau 15	Facteur de pente selon Gillespie	45
Tableau 16	Résultats de l'équation de Gillespie pour un tracteur semi-remorque de 19,8 m	45
Tableau 17	Equation d'accélération de Hutton	47
Tableau 18	Coefficients de frottement prescrits par le projet RTD 10 (Tableau 4.4 du RTD 10)	48
Tableau 19	Performances de freinage identifiées lors des essais du NCHRP et de l'UMTRI	49
Tableau 20	Résultats des essais d'accélération sur sites	60
Tableau 21	Résultats des interviews avec des conducteurs au sujet de leurs comportements aux passages à niveau	63
Tableau 22	Temps de changement de vitesse selon l'habileté du conducteur	67
Tableau 23	Longueurs maximales des véhicules types	68
Tableau 24	Conditions spéciales d'utilisation des abaques	70
Tableau 25	Décélérations obtenues lors des essais de freinage	70
Tableau 26	Comparaison des distances de visibilité d'arrêt selon Harwood (1990), RTD 10 et nos résultats d'essais	71
Tableau 27	Distances de visibilité d'arrêt en fonction de la limite de vitesse de la route pour véhicules lourds dotés de freins conventionnels	72
Tableau 28	Distances de visibilité d'arrêt en fonction de la limite de vitesse de la route pour véhicules lourds dotés de freins ABS	72

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Mesures des distances de dégagement (projet RTD 10)	29
Figure 2	Courbes d'accélération des véhicules types (projet RTD 10)	30
Figure 3	Distance minimale entre un passage à niveau et une intersection routière (projet RTD 10)	32
Figure 4	Lignes de visibilité pour passages à niveau passifs (projet RTD 10)	35
Figure 5	Lignes de visibilité pour passages à niveau actifs (projet RTD 10)	35
Figure 6	Temps de passage en fonction du poids pour une voie	43
Figure 7	Résultats des essais de Gillespie	46
Figure 8	Résultats des essais de Hutton	46
Figure 9	Comparaison des résultats de Gillespie et de Hutton	47
Figure 10	Courbes distances de freinage (pi) vs vitesse initiale (mi/h) du NCHRP pour divers types de freinage et profondeurs des bandes de roulement des pneus	49
Figure 11	Courbes distances de visibilité sur route vs vitesse du véhicule lourd du NCHRP	50
Figure 12	Courbes distances de visibilité le long des voies vs vitesse du train du NCHRP	50
Figure 13	Courbes d'accélérations comparatives sur surface en asphalte et en gravier et avec simulation d'un mauvais état de la surface de passage	57
Figure 14	Exemple de courbes d'accélération sur site pour un tracteur semi-remorque avec et sans changement de vitesse	58
Figure 15	Résultats comparatifs avec et sans la présence d'une intersection à 30 mètres lors du passage d'un train routier	59
Figure 16	Courbes de freinage sur piste des divers véhicules mis à l'essai	61
Figure 17	Courbes de puissance et de couple pour un moteur de camion de marque Detroit Diesel, modèle Série 60, de 14 litres de cylindrée et de 400 hp	66
Figure 18	Profils typiques utilisés dans les abaques (pentes de 5 %)	67
Figure 19	Identification des véhicules types	68
Figure 20	Exemples d'abaque du temps de passage en fonction de la distance de dégagement et du véhicule type	69

INTRODUCTION

Environ 10 p. cent de l'ensemble des accidents qui surviennent à des passages à niveau impliquent un véhicule lourd et plusieurs de ces collisions sont le résultat de problèmes de visibilité. Comme les véhicules qui transportent des marchandises dangereuses doivent, tout au moins au Québec et aux États-Unis, s'arrêter aux passages à niveau, il faut s'assurer que le conducteur dispose alors d'une visibilité suffisante pour que son camion puisse, en repartant, franchir la voie ferrée sans entrer en collision avec un train. De plus, les poids lourds qui ne sont pas touchés par cette règle doivent pouvoir, lorsqu'un train arrive, s'immobiliser aux passages à niveau qui ne sont pas protégés par des feux ou signaux sonores. Dans ce but, la procédure de conception et de vérification des voies ferrées définit un triangle de visibilité dont l'arête mesurée le long de la route est égale à la somme de la distance de freinage et de la distance parcourue durant le temps de perception et de réaction du conducteur (distance de visibilité d'arrêt). L'arête mesurée le long des voies ferrées doit, quant à elle, être égale à la distance parcourue par le train, à sa vitesse normale, durant le temps pris par le véhicule lourd pour franchir, à sa vitesse initiale, la somme de la distance de visibilité d'arrêt, de la distance de dégagement du passage à niveau et de la longueur du véhicule.

Il faut noter que les normes de conception des passages à niveau sont restées inchangées pendant très longtemps, alors que les véhicules routiers subissaient de nombreuses transformations techniques. Ceci rend potentiellement caduques certains aspects de ces normes. Par conséquent, dans le cadre d'un projet réalisé à la demande de Transports Québec et visant à mesurer l'impact des véhicules lourds sur la sécurité aux passages à niveau, nous avons procédé à des essais afin de mesurer les temps d'accélération et les distances de freinage de divers véhicules lourds (autobus, camions et tracteurs semi-remorques). Le but de ces essais consistait à identifier les performances typiques en freinage et en accélération de diverses classes de véhicules lourds utilisées dans le calcul des triangles de visibilité des passages à niveau. Les résultats obtenus ont ensuite été utilisés pour valider un modèle mathématique de l'accélération des véhicules lourds. Ce modèle et les résultats de divers essais dont des essais de freinage et des essais sur des sites de passages à niveau ont finalement été utilisés pour développer un outil de conception et de vérification des passages à niveau qui pourra être intégré à la nouvelle norme RTD 10. L'outil développé dans le cadre de ce projet permet d'établir des triangles de visibilité adaptés aux véhicules commerciaux de tous poids et de toutes dimensions et à toutes les caractéristiques opérationnelles, conditions routières, vitesses de camions et de trains, et conditions météorologiques normales.

1. SÉCURITÉ AUX PASSAGES À NIVEAU – ÉTAT DE LA SITUATION

De nombreuses études, banques de données et publications scientifiques ont été consultées au sujet de la sécurité routière aux passages à niveau en général, et plus spécifiquement au sujet de la problématique de l'utilisation des passages à niveau par les véhicules lourds. Ces sources d'information permettent d'illustrer l'état de la situation actuelle. La revue de la littérature présentée dans ce chapitre permet en premier lieu d'identifier les divers aspects généraux de la sécurité des passages à niveau ainsi que les organismes de réglementation ayant un rôle à jouer dans ce domaine. En deuxième lieu, les statistiques de collisions et les diverses réglementations qui gèrent ou affectent la sécurité aux passages à niveau sont présentées. Par la suite, le sujet principal, soit l'impact des véhicules lourds sur la sécurité aux passages à niveau, peut être abordé par le biais des statistiques et de la réglementation touchant ce type de véhicules, et ensuite au travers des causes et des facteurs contributifs des collisions répertoriés dans la littérature. Les résultats des études antérieures portant sur les performances (accélération et freinage) des véhicules lourds sont finalement présentés et commentés.

Les passages à niveau sont considérés comme des intersections routières et ce, même si le train ne s'y arrête pas nécessairement ou ne peut physiquement s'y immobiliser en cas d'urgence étant donné sa vitesse d'approche souvent élevée. Les risques en cas de présence d'un véhicule sur la voie ferrée sont donc considérables. Les collisions survenant aux passages à niveau, comme ailleurs, sont rarement attribuables à une cause unique mais plutôt à un ensemble de facteurs contributifs. Il s'agit donc d'une problématique à diverses facettes touchant à des aspects techniques des véhicules et de l'environnement, ainsi qu'à des aspects humains et sociaux. Parmi les aspects techniques, il est clair que la configuration des passages à niveau ainsi que les caractéristiques de fonctionnement des véhicules peuvent présenter certains risques pour les conducteurs de véhicules routiers traversant une voie ferrée. Citons, par exemple, quelques facteurs contributifs des collisions tels que : la visibilité des trains, les délais d'avertissement, l'angle entre la route et les voies, la signalisation, les performances de freinage et d'accélération des véhicules, la qualité de la surface de passage, ou encore la présence de plusieurs voies. Les facteurs contributifs aux collisions qui sont liés aux aspects humains sont également nombreux. Pour n'en nommer que quelques-uns, l'impatience des conducteurs, la familiarité avec le passage à niveau, les distractions, la prise de risques et l'inconscience du danger, sont parmi les principaux facteurs humains à la base des collisions entre un véhicule routier et un train. En général, il faut noter que très peu de conducteurs semblent conscients des dangers que présentent les passages à niveau. De plus, rares sont les conducteurs qui ont eu quelque formation que ce soit sur l'attitude à adopter lors de la traversée d'un passage à niveau. Cette absence de perception du danger et le manque de formation se conjuguent et ainsi on observe qu'un grand nombre de conducteurs adoptent un comportement à risque aux abords des traverses de chemin de fer.

1.1 Organismes responsables

Plusieurs organismes canadiens et américains, principalement gouvernementaux, s'assurent de la sécurité des passages à niveau. Les sections suivantes présentent un aperçu du mandat et de la raison d'être de ces divers organismes.

1.1.1 Transports Canada

La mission de Transports Canada consiste à établir et à administrer les politiques, les règlements et les services pour mettre en place et conserver le meilleur réseau de transport pour le Canada et les Canadiens, soit un réseau sécuritaire, efficace, abordable, intégré et écologique.

Le groupe Sécurité et sûreté de Transports Canada est responsable de l'élaboration des règlements et des normes nationales, ainsi que de la mise en oeuvre des programmes de contrôle, d'essais, d'inspections, de recherche et développement et de contributions, en vue de favoriser la sécurité et la sûreté des quatre modes de transport (routier, maritime, aérien et ferroviaire) utilisés au Canada. Ainsi, plusieurs organismes ou activités liés à la sécurité des passages à niveau relèvent de Transports Canada.

1.1.2 Centre de développement des transports (CDT)

Le CDT est la division de recherche et développement (R&D) de Transports Canada. Cet organisme gère un programme de R&D couvrant tous les modes de transports, y compris le transport de marchandises dangereuses. Le 13 mai 2002, le Canada et les États-Unis signaient une entente de coopération en matière de recherche sur les passages à niveau. Cette entente permet au Canada et aux États-Unis d'échanger des renseignements, de tirer profit des recherches et des connaissances respectives et de collaborer à des projets de recherche spécifiques. Le CDT et la Federal Railway Administration (FRA) des États-Unis se communiquent donc mutuellement la teneur et les résultats des projets de recherche en cours et planifiés de façon à réduire tout recoupement. Le CDT dirige le Programme de recherche sur les passages à niveau depuis 1999 dans le cadre de l'initiative *Direction 2006*.

1.1.3 Direction 2006

Suite à un examen indépendant de la Loi sur la sécurité ferroviaire du gouvernement fédéral, en 1994, le comité d'examen a recommandé que les collisions aux passages à niveau et les incidents rattachés à l'intrusion sur les voies ferrées soient réduits de 50 p. cent sur une période de dix ans. Pour répondre à cette attente, le gouvernement fédéral a donc mis sur pied en 1996 l'initiative *Direction 2006* avec pour mission globale d'éliminer toutes les collisions et décès rattachés aux incidents aux passages à niveau et aux intrusions sur les voies ferrées. Il s'agit d'un partenariat entre les intervenants ferroviaires des secteurs public et privé.

Pour atteindre son objectif de réduction de 50 p. cent des collisions, *Direction 2006* a identifié plusieurs domaines clés d'intervention : l'éducation, l'application de la loi, l'ingénierie, la recherche, le cadre bureaucratique et législatif, les ressources et les communications. Le programme prévoit, entre autres, l'introduction d'éléments d'enseignement supplémentaires sur la sécurité ferroviaire dans les programmes provinciaux de formation des conducteurs, ainsi que dans les manuels de conduite automobile.

1.1.4 Opération Gareautrain

Opération Gareautrain est un programme national d'éducation publique. Ce programme est parrainé par l'Association des chemins de fer du Canada et Transports Canada, en collaboration avec le Conseil canadien de la sécurité, les ligues et conseils de sécurité provinciaux, les compagnies de chemins de fer, les corps de police, les syndicats et les groupes sociaux.

Ce programme d'éducation continue vise à sensibiliser davantage le grand public aux dangers des passages à niveau et à inciter les conducteurs et les piétons à être plus attentifs à la circulation ferroviaire.

1.1.5 Ministère des Transports du Québec (MTQ)

La Politique de sécurité dans les transports (volet routier) vise à établir les orientations et les priorités du MTQ et de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), afin de réduire le nombre et la gravité des collisions routières, tout en préservant la mobilité des personnes et des marchandises. La

nouvelle politique de sécurité dans les transports a pour objectif d'améliorer le bilan routier de 15 p. cent d'ici la fin de 2005.

Adoptée en juin 1998, la Loi concernant les propriétaires et exploitants de véhicules lourds (couramment appelée «Loi 430») introduit un nouveau mode de gestion des privilèges d'utilisation de la route. Cet outil est actuellement en place pour identifier et, le cas échéant, sanctionner les utilisateurs de véhicules lourds à risque ou délinquants.

1.1.6 Bureau de la sécurité dans les transports (BST)

La mission du BST consiste essentiellement à promouvoir la sécurité du transport maritime, ferroviaire et aérien, ainsi que du transport par pipeline. Les activités principales de cet organisme gouvernemental canadien consistent à procéder à des enquêtes indépendantes sur les accidents de transport choisis afin d'en dégager les causes et les facteurs contributifs, de constater les manquements à la sécurité mis en évidence par de tels incidents, de formuler des recommandations sur les moyens d'éliminer ou de réduire ces manquements et de publier des rapports rendant compte de ses enquêtes et de ses conclusions.

La principale caractéristique du BST est son indépendance. Sa politique est de faire enquête uniquement sur les accidents qui risquent de déboucher sur la formulation d'une mesure de sécurité ou qui suscitent un grand intérêt du public.

1.1.7 Federal Railroad Administration (FRA) des États-Unis

La FRA est un organisme gouvernemental américain ayant pour objectifs de promouvoir et de faire respecter les règles de sécurité ferroviaire, d'administrer les programmes d'assistance ferroviaire, d'effectuer de la recherche et du développement pour améliorer la sécurité ferroviaire et la politique nationale de transport ferroviaire et de consolider le support gouvernemental aux activités de transport ferroviaire.

De plus, la FRA instruit le public à propos de la sécurité aux passages à niveau et des dangers de l'intrusion sur les emprises ferroviaires. Le programme de recherche et de développement du transport au sol de la FRA cherche à faire avancer les connaissances sur les sciences physiques et l'ingénierie dans le but d'améliorer la sécurité ferroviaire et d'assurer que les chemins de fer continuent d'être une ressource de transport viable aux États-Unis.

1.1.8 Federal Highway Administration (FHWA) – Département des transports américain

La FHWA est une division du département des transports américain (U.S. Department of Transportation). La FHWA produit des expertises, des ressources et de l'information pour améliorer continuellement la qualité du système routier américain ainsi que ses connexions intermodales.

La FHWA, de concert avec la FRA, l'*Opération Gareautrain* ainsi que d'autres organismes, a eu un grand succès dans l'amélioration de la sécurité aux passages à niveau. La FHWA est aussi très proactive dans l'application des recommandations du Bureau de la sécurité dans les transports américain (National Transportation Safety Board).

1.1.9 National Transportation Safety Board (NTSB) des États-Unis

Le NTSB est une agence fédérale américaine indépendante chargée par le Congrès d'investiguer chaque accident touchant l'aviation civile aux États-Unis ainsi que les accidents significatifs dans les autres

modes de transport et de formuler des recommandations ayant pour but de prévenir des accidents futurs. C'est l'équivalent américain du Bureau de la sécurité dans les transports du Canada.

1.1.10 Volpe Center

Le centre national des systèmes de transport John A. Volpe National Transportation Systems Center, établi à Cambridge au Massachusetts, est un centre d'expertise dans les transports et dans la logistique internationalement reconnu. Par la recherche et le développement, l'ingénierie et l'analyse, le Volpe Center aide les décideurs à cerner les problèmes et à proposer et analyser des solutions pour faire avancer le domaine du transport vers le 21^{e} siècle.

Récemment, pour promouvoir l'utilisation des systèmes de transports intelligents aux passages à niveau, le Department of Transportation's Joint Program Office a initié un programme de recherche sur les passages à niveau. Le Volpe Center participe actuellement à cet effort et des initiatives spécifiques visent entre autres : l'augmentation de la base de connaissances liées aux statistiques de collisions et aux processus internationaux utilisés aux passages à niveau, l'évaluation d'essais opérationnels sur des prototypes et sur le terrain, la réalisation de projets de démonstration, l'amélioration de composantes, le déploiement de nouvelles technologies, la tenue d'activités de création de réglementation, la production d'avis d'experts pour les États et les municipalités dans le déploiement et l'évaluation de nouveaux appareils, la réalisation d'études d'analyse comparatives ainsi que la diffusion des résultats de recherche.

Parmi ses projets, le Volpe Centre réalise actuellement une étude de simulation sur l'impact entre un wagon de train et un véhicule lourd visant à établir et améliorer la résistance à l'impact des wagons.

1.2 Collisions aux passages à niveau

Au Canada, le nombre de collisions aux passages à niveau a diminué de moitié entre 1983 et 2000. Ainsi, d'un point de vue strictement statistique, on peut prévoir que l'objectif de *Direction 2006* de diminuer de moitié le nombre d'accidents de son niveau de 1996 sera atteint d'ici à 2006.

Néanmoins, malgré une diminution constante du nombre de collisions aux passages à niveau, le pourcentage de ces collisions impliquant des véhicules utilitaires semble être en augmentation. Comme on peut le voir au tableau 1, ce pourcentage est passé de 13,9 p. cent en 1990 à 17,5 p. cent en 2000 (Tardif, L.-P., 2001).

Tableau 1 – Nombre de collisions aux passages à niveau entre 1990 et 2000

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nombre total de collisions	386	407	386	379	390	380	366	307	273	282	262
Nombre de collisions impliquant des véhicules utilitaires	54	53	35	55	47	65	53	49	33	49	46
% de collisions impliquant des véhicules utilitaires	13,9	13,0	9,0	14,5	12,0	17,1	14,4	15,9	12,0	17,3	17,5

Aux États-Unis, bien que les véhicules lourds ne soient impliqués que dans 11 p. cent des collisions de la route, ils sont impliqués dans plus de 20 p. cent des collisions qui se produisent aux passages à niveau. Comme ces statistiques datent de 1967 et que la situation aux États-Unis est relativement la même que celle au Canada, on peut croire que ce pourcentage d'implication des véhicules lourds est encore plus élevé à l'heure actuelle (Harwood, et coll., 1990).

Les causes de collisions généralement identifiées sont presque exclusivement reliées aux facteurs humains, la prédominance de ces facteurs n'étant pas le résultat de leur plus grande influence sur la sécurité des passages à niveau, mais plutôt le résultat de la prédominance d'études se concentrant sur ce sujet par rapport à celles étudiant les facteurs techniques. D'autre part, par des études rétroactives des causes d'accidents, les facteurs humains sont beaucoup plus facilement identifiables car le point de vue exprimé par les conducteurs après l'accident se réfère dans la majorité des cas à leur réaction face à la situation provoquant la collision. Finalement, les facteurs techniques reliés à la conception des passages à niveau sont moins facilement identifiables, car les conducteurs de même que les intervieweurs ne connaissent pas toutes les normes de conception ni toutes les caractéristiques qui font qu'un passage à niveau dévie de la norme. Ainsi l'identification des facteurs techniques qui peuvent jouer un rôle dans une collision nécessite souvent une analyse beaucoup plus détaillée que celles normalement conduites. Les enquêtes menées par le BST sont l'une des meilleures sources identifiant ces facteurs et il en sera question à la section suivante.

Aux États-Unis, le NTSB a réalisé plusieurs études pour identifier les facteurs contributifs d'accidents aux passages à niveau. L'une de ces études a montré que sur 75 cas d'accidents étudiés, 52 étaient le résultat de l'attitude du conducteur. Une autre étude a montré que sur 60 cas d'accidents étudiés, 49 étaient le résultat de l'attitude du conducteur, 13 de ces collisions étant le résultat d'une omission de faire un arrêt obligatoire, 16 de celles-ci étant imputables au fait que le conducteur n'avait pas regardé pour vérifier l'approche d'un train, 10 de celles-ci étant attribuables à la distraction du conducteur et 5 collisions à cause d'une erreur de jugement de la part du conducteur. Dans les 11 autres cas, 7 étaient le résultat de problèmes de visibilité (Caird, et coll., 2002).

Une étude de Wigglesworth réalisée en 1979 sur un échantillon de 85 accidents à des passages à niveau a permis de déterminer que 73 des conducteurs impliqués étaient familiers avec le passage à niveau. Dans ces 85 cas de collisions, 68 p. cent des conducteurs passaient plus de quatre fois par semaine par le passage à niveau où avait eu lieu la collision et 19 p. cent des conducteurs y passaient entre deux et quatre fois (Caird, et coll., 2002).

Les résultats d'une étude de Knoblauch et Hucke datant de 1981 montrent également que la majorité des conducteurs qui traversaient le passage à niveau après l'activation des feux clignotants le faisaient dans les 30 secondes suivant leur activation (Caird, et coll., 2002).

Des études de Lerner et coll., en 1990, et du NTSB, en 1998, ont montré que 81 p. cent des collisions survenant aux passages à niveau passifs étaient imputables à des erreurs de reconnaissance. Ces erreurs de reconnaissance se divisent en deux groupes : la non-reconnaissance de la présence du train et la non-reconnaissance des actions qui permettraient d'éviter la collision. De ces collisions, 19 p. cent étaient attribuables à une reconnaissance trop tardive de la présence d'un train. Par ailleurs, on note également que 18 p. cent de l'ensemble des collisions sont attribuables à des erreurs de jugement. Toutefois, la majorité de ces collisions étaient imputables à des lignes de visibilité insuffisantes. Aux passages à niveau actifs, on a observé que la fréquence d'accident est 10 fois plus faible lorsque des barrières sont installées en plus des feux clignotants (Caird, et coll., 2002).

Une étude de Meeker et coll. de 1997 a montré que 67 p. cent des conducteurs traversent quand même le passage à niveau si les feux ont commencé à clignoter et que 38 p. cent traversent quand même si les barrières ont commencé à descendre ou sont même complètement descendues (Caird, et coll., 2002).

Berg a démontré en 1988 que le risque d'accident est sept fois plus élevé lorsque la route est parallèle aux rails et que le train vient de l'arrière du champ de vision du conducteur (Caird, et coll., 2002).

Par ailleurs, pour évaluer statistiquement la sécurité d'un passage à niveau en particulier, il ne suffit pas de comparer le nombre de collisions se produisant à ce passage à niveau par rapport à d'autres, il faut mettre en relation ce nombre d'accidents avec le taux d'exposition du passage à niveau, c'est-à-dire plus simplement mettre ce nombre en relation avec le trafic routier et ferroviaire. Un indice qui devrait être utilisé pour ce genre d'analyse est le produit vectoriel du passage à niveau, c'est-à-dire le produit du nombre journalier moyen de véhicules et de trains qui utilisent ce passage à niveau (Caird, et coll., 2002).

Abraham et coll. (1998) ont remarqué que 56 p. cent des collisions se produisent à des passages à niveau actifs, bien que dans l'ensemble du Canada 80 p. cent des passages à niveau sont passifs. Ceci s'explique toutefois par le fait que ces passages à niveau sont beaucoup plus achalandés que les passages à niveau passifs. En comparant le nombre d'accidents par rapport au produit vectoriel des passages à niveau, on peut voir que les passages à niveau actifs sont beaucoup plus sécuritaires que les passages à niveau passifs. Il a été déterminé que le nombre d'accidents est réduit de 70 p. cent aux passages à niveau actifs par l'installation de barrières, cette augmentation étant encore plus grande pour les zones rurales (Caird, et coll., 2002).

Caird (2002), qui étudiait la base de données RODS (pour *Rail Occurrence Database System*), a déterminé que plus de 50 p. cent des collisions se produisent à des passages à niveau ayant des angles de moins de 80° ou de plus de 100°. Il a aussi pu déterminer que 40 p. cent des collisions se produisent entre 9 h 30 et 15 h 30 et que 35 p. cent de celles-ci se produisent aux heures de pointe. Il a aussi remarqué que la majorité des collisions (proportionnellement au nombre de jours) se produisent la semaine et que janvier et décembre sont les mois pour lesquels on enregistre le plus haut taux de collisions et avril le mois pour lequel on enregistre le plus bas taux.

Le même auteur a effectué plusieurs recherches dans la base de données RODS. Il a tout d'abord procédé à une recherche quantitative par rapport aux types d'accidents et aux conditions non sécuritaires qui y sont reliés : des recherches ont été faites pour divers types d'actes non sécuritaires, pour diverses conditions routières ainsi que pour diverses conditions du conducteur impliqué. Les résultats de ces recherches sont présentés dans les tableaux 2, 3 et 4. Dans le tableau 2, un acte intentionnel est un acte ayant un but précis, par exemple tenter de passer plus vite que le train, alors qu'un acte non intentionnel est dû à une erreur de jugement.

Tableau 2 – Actes non sécuritaires et intentionnels de 1999 à 2000 (Caird, et coll., 2002)

Type de traversée	Inconnu	Intentionnel	Non intentionnel	Total	%
Ne s'est pas arrêté	162	107	161	430	70,6
A glissé sur les voies	7	6	29	42	6,9
S'est arrêté trop proche	4	9	13	26	4,3
A été pris sur les voies	7	1	18	26	4,3
A calé sur les voies	1	6	18	25	4,1
A conduit autour des barrières	1	21	2	24	3,9
S'est arrêté puis a traversé	4	-	7	11	1,8
A conduit à travers les barrières	1	8	1	10	1,6
Véhicule poussé sur les voies	1	1	3	5	0,8
Est entré en collision avec un 2^{e} train	-	-	1	1	0,2
Total	**187**	**169**	**253**	**609**	**100,0**

Tableau 3 – Actes non sécuritaires et non intentionnels de 1999 à 2000 (Caird, et coll., 2002)

Condition	1998	1999	2000	2001	Total
Couverture de neige	2	5	4	3	14
Glacé	4	2	-	-	6
Brouillard	1	2	1	1	5
Pluie	-	2	2	-	4
Mouillé	2	-	-	1	3
Reflet du soleil	1	1	-	-	2
Nuit	-	1	1	-	2
Vent	-	-	1	-	1
Pénombre	-	1	-	-	1
Total	**10**	**14**	**9**	**5**	**38**

Tableau 4 – Conditions internes non sécuritaires de 1998 à 2001 (Caird, et coll., 2002)

Condition mentale	1998	1999	2000	2001	Total
Attitude	115	28	22	24	189
Attention/Vigilance	4	60	30	13	107
Traitement de l'information	13	21	14	2	50
État mental/émotionnel	6	9	4	3	22
Alcool	3	9	3	1	16
Planification	1	6	1	1	9
Handicap	-	2	-	-	2
Limites de vision	-	2	-	-	2
Expérience	-	1	-	-	1
Total	**142**	**138**	**74**	**44**	**398**

Caird a ensuite procédé à une analyse qualitative des descriptions d'accidents dans la base de données RODS. Il a divisé les causes d'accidents ainsi trouvées en trois catégories. La première est celle des collisions imputables à des actes intentionnels, la deuxième est celle des collisions attribuables à des distractions et la troisième est celle des collisions survenues à cause de problèmes de visibilité. Sans entrer dans les détails, le tableau 5 présente les principales causes des collisions qu'il a étudiées.

Richards & Heathington ont constaté, en 1986, que 20 p. cent des conducteurs pensent que tous les passages à niveau sont actifs et interprètent l'absence de signaux lumineux comme étant une absence de trains. Cette étude date de quelques années, mais tout porte à croire que la situation ne s'est pas améliorée à ce sujet (Caird, et coll., 2002).

1.2.1 Rapports d'enquête de collisions du BST

Nous avons pu identifier, depuis 1994, huit rapports d'enquête publiés par le BST traitant de collisions entre un train et un véhicule lourd. Les résultats de ces enquêtes sont présentés ici à titre d'exemple de cas réels de collisions aux passages à niveau. Tous les rapports cités sont disponibles dans leur version intégrale sur le site Internet du BST.

Tableau 5 – Analyse des descriptions d'accidents de la base de données RODS (Caird, et coll., 2002)

Catégorie	# des cas	Cause
Actes intentionnels	35 cas	conduit autour des barrières
	16 cas	tente de battre le train
	10 cas	arrête puis passe
	10 cas	contourne des véhicules arrêtés
	5 cas	conduite en état d'ébriété
	4 cas	contourne des véhicules arrêtés et les barrières
	3 cas	ralenti puis passe
	3 cas	Fatigue
Distractions	12 cas	n'a pas vu le train et/ou les signaux (plusieurs causes de distractions)
	9 cas	a vu le train trop tard pour s'arrêter; 8 de ces cas étaient à des passages à niveau passifs
	7 cas	parlait ou répondait au cellulaire ou au radio-émetteur
	4 cas	distraction interne; processus cognitif, préoccupation, attitude mentale, inattention
	3 cas	parlait à des passagers; enfants bruyants à l'arrière
	3 cas	distraction externe : regardait d'autres véhicules
	1 cas	manipulation des contrôles de la radio
		des causes multiples sont aussi rapportées
Problèmes de visibilité	25 cas	présence de brouillard : roulait trop vite pour les conditions de visibilité, visibilité réduite de la route et de l'approche du train, pas vu les systèmes d'avertissement automatisés ou les panneaux d'avertissement avancés.
	21 cas	reflet du soleil; soleil levant ou couchant, reflet sur la route ou reflet sur le pare-brise.
	10 cas	lignes de visibilité obstruées; distance, angle, courbure, végétation, bâtiments, banc de neige, lignes trop courtes, objet dans le véhicule, véhicule arrêté ou stationné obstruant les lignes de visibilité.
	4 cas	neige; poudrerie, tempête, pas de réduction de vitesse dans ces conditions

Rapport R94C0035

Le 30 mars 1994, un train du Canadien Pacifique s'engageait dans le passage à niveau public de la Crowsnest Trail, en Alberta, lorsque le wagon de tête a été heurté par un camion-benne chargé causant la mort du conducteur, la destruction du camion, le déraillement de ce wagon, des dommages à un immeuble et causant aussi des blessures à un contremaître de triage. Le passage à niveau était un passage à niveau actif très achalandé (18 000 véhicules et trois ou quatre trains par jour), les signaux d'avertissement étaient en fonction au moment de l'accident et des signaux d'avertissement avancés étaient présents 150 m avant le passage à niveau. Après une analyse détaillée de la collision, les inspecteurs ont pu déterminer que le système de freinage du camion présentait des défaillances mécaniques graves, ce qui a fait en sorte que le camion n'a pu s'arrêter avant le passage à niveau. Comme la cause de cet accident était imputable essentiellement aux problèmes mécaniques du camion, le BST n'a pas formulé de recommandations de sécurité, cette problématique étant de juridiction provinciale. Certaines inquiétudes ont toutefois été exprimées au sujet des normes de certaines provinces quant aux exigences en matière de capacité de freinage des véhicules lourds. Plusieurs de ces normes ont été révisées depuis.

Rapport R94D0191

Le 4 novembre 1994, vers 20 h 12, un train de Via Rail est entré en collision avec un tracteur semi-remorque à un passage à niveau public dans la municipalité de Rivière-Beaudette au Québec. Le conducteur du véhicule avait ralenti en approchant des voies, car un premier train de marchandises se dirigeant vers l'ouest allait libérer le passage à niveau. Les signaux d'avertissement se sont éteints, le véhicule s'est engagé dans le passage à niveau et les signaux se sont tout de suite remis en marche pour avertir de l'arrivée du train de voyageurs et le conducteur a alors abandonné son véhicule pour se mettre à l'abri. Lors de l'impact, le bogie avant de la locomotive a déraillé, le réservoir de carburant a été percé et un feu s'est déclaré à l'arrière de la locomotive. La locomotive et la deuxième voiture ont été lourdement endommagées, trois autres voitures ont été légèrement endommagées, la semi-remorque a été complètement détruite et deux voyageurs et deux mécaniciens ont subi des blessures légères. Le laboratoire technique du BST a procédé à quelques essais d'accélération à ce passage à niveau avec un véhicule semblable mais ne sachant pas la position et la vitesse exacte du camion, plusieurs possibilités ont été explorées et il a été déterminé que dans la majorité des cas le véhicule n'aurait pu traverser à temps le passage à niveau si le conducteur était resté au volant de son véhicule. Selon Transports Canada, lors de cette collision, le conducteur n'a pas mis intentionnellement sa vie en danger. On estime que, dans certains cas, les conducteurs de camions qui s'approchent d'un passage à niveau peuvent se retrouver dans une situation où ils ne peuvent ni s'arrêter à temps ni accélérer pour franchir la voie ferrée en toute sécurité. De plus, le camion montait une pente de plus de 2 p. cent lors de sa traversée du passage à niveau. Le BST a donc conclu que les dispositifs de signalisation ont fonctionné comme prévu, mais que le conducteur du camion a compris trop tard ce qui se passait ou qu'il n'a pas eu le temps de prendre les mesures pour éviter la collision. Le BST se dit inquiet des situations qui peuvent présenter une «zone de non-retour» pour les véhicules lourds. C'est à cette époque que Transports Canada a initié le projet RTD 10.

Rapport R94M0100

Le 14 décembre 1994, vers 13 h, une semi-remorque chargée de copeaux de bois s'est détachée de son tracteur à un passage à niveau public de Mont-Joli, au Québec. Un train du Canadien National (CN) se dirigeant vers l'ouest a heurté la semi-remorque, ce qui a fait dérailler la locomotive et plusieurs wagons, le train a ensuite continué de rouler et a endommagé le pont traversant la rivière Matapédia. Ceci a entraîné la chute de la locomotive de queue et de neuf wagons sur la rive. Personne n'a été blessé. La route faisait un angle de 90 degrés juste avant le passage à niveau. Après évaluation des événements, le BST a déterminé que l'accident était dû à une mauvaise vérification avant départ de la sellette d'attelage qui s'est séparée du tracteur lorsque celui-ci a effectué le virage à 90 degrés pour franchir le passage à niveau. Par ailleurs, certaines anomalies ont été notées au niveau du travail du contrôleur responsable de la circulation ferroviaire qui, ayant été avisé de la collision, aurait omis de mettre le point milliaire du passage à niveau hors service. Par la suite, le CN a évalué plusieurs aspects de la charge de travail de ce contrôleur, a réorganisé la distribution du territoire de la circulation ferroviaire et a donné une formation supplémentaire au contrôleur en question.

Rapport R94V0206

Le 22 septembre 1994, à Fort Langley, en Colombie-Britannique, un train de marchandises du CN roulant en direction est a heurté un camion à ordures commercial roulant en direction sud à un passage à niveau public. Le conducteur et le passager du camion ont été tués. Selon le rapport d'enquête de la police, la longueur des marques de freinage indique que le camion roulait si vite qu'il n'aurait pu s'arrêter au panneau d'arrêt situé avant le passage à niveau. La ligne de visibilité dans le triangle nord-ouest du passage à niveau était obstruée par de grands arbres situés sur une propriété privée. Il a aussi été déterminé qu'en raison de sa position, le soleil a peut-être aussi gêné la vue du conducteur. D'autre part,

le BST fait remarquer qu'à cette époque, aucun règlement n'obligeait l'enlèvement de broussailles et d'arbres des propriétés privées qui risquaient d'affecter la sécurité ferroviaire. En février 1996, ce passage à niveau a été doté de signaux d'avertissement actifs et de barrières. Il faut aussi remarquer que la Loi sur la sécurité ferroviaire permet à Transports Canada d'utiliser un règlement exigeant l'enlèvement d'arbres et de broussailles sur les propriétés privées, bien que celui-ci n'ait pas été encore promulgué. Le BST suggère aussi à Transports Canada, bien qu'il sache que ce processus soit long, d'utiliser ce règlement.

Rapport R95D0081

Le 6 juin 1995, vers 13 h 50, un train de marchandises du CN a heurté un tracteur semi-remorque près de Saint-Léonard, au Québec. Un membre de l'équipe de train a été tué. En s'approchant du passage à niveau le personnel du train a aperçu un tracteur semi-remorque s'approchant du passage à niveau. L'agent de train a alors fait certains signes de la main pour signaler au conducteur de s'arrêter, mais le conducteur a interprété ces gestes comme la permission de passer. Dans ces circonstances, le train aurait du s'arrêter et on aurait dû poster un signaleur pendant la traversée du train. À la suite de cet événement, le CN a publié une circulaire pour mettre l'accent sur l'application de cette règle.

Rapport R99H0009

Le 14 juillet 1999, près de Horepayne, en Ontario, un train de Via Rail est entré en collision avec un tracteur semi-remorque à un passage à niveau privé, surtout utilisé par des camions de transport de bois. Suite à la collision, le camion a pivoté sur lui-même et a heurté le côté du train faisant dérailler trois locomotives et huit wagons de passagers, deux réservoirs de carburant ont été éventrés et leur contenu a alimenté deux petits incendies. Trois personnes ont subi des blessures graves et en tout huit personnes ont été hospitalisées. Le coût des dommages matériels a aussi été très élevé. Le camion vide roulait lentement car la route et le passage à niveau étaient cahoteux. Un signal d'arrêt était présent trois mètres avant le passage à niveau. Durant son approche du passage à niveau, la cloche et le sifflet du train étaient actionnés, mais le conducteur ne les a pas entendus à cause du trop haut niveau sonore de la musique que le conducteur écoutait dans la cabine. L'ingénieur régional a conclu dans son rapport que le passage à niveau était conforme à tous les règlements et lignes directrices existants. Toutefois, la ligne directrice G4-A (*Exigences minimales relatives aux lignes de visibilité à tous les passages à niveau non munis de dispositif d'avertissement automatique*) n'exige qu'une ligne de visibilité minimale de 413 m pour les passages à niveau munis d'un panneau d'arrêt où la vitesse des trains n'excède pas 96 km/h et où circulent des véhicules lourds. Malgré cela, la ligne de visibilité en direction du train n'était que de 365 m. Dans son étude, l'ingénieur régional de Transports Canada a déterminé que 25 secondes étaient nécessaires aux véhicules lourds pour franchir sans danger un passage à niveau de ce type. Avec ce temps de passage et une vitesse des trains de 96 km/h, il aurait plutôt fallu une distance de visibilité de 686 m. Le BST a conclu que la cause de l'accident était le fait que le conducteur n'a pas vu le train et qu'il n'a pas entendu ses sifflets à cause des sources de bruits à l'intérieur de la cabine. Le BST a aussi établi que compte tenu des indices visuels et de la présence d'un panneau d'arrêt, il est vraisemblable que le conducteur aurait été en mesure de voir le train s'il avait immobilisé son véhicule au panneau d'arrêt et s'il avait regardé en direction de la voie ferrée. Néanmoins, bien que ne soit pas les causes directes, le BST énonce aussi certains facteurs de risque comme l'utilisation de normes ne prévoyant pas assez de temps pour qu'un tracteur semi-remorque puisse traverser sans danger un passage à niveau. Depuis l'accident, Transports Canada a réédité le projet RTD 10.

Rapport R99T0298

Le 23 novembre 1999, un train du Canadien National a heurté un tracteur semi-remorque qui était abandonné sur les voies à un passage à niveau de ferme à Bowmanville, en Ontario. Le train a déraillé après avoir poussé la remorque sur 610 m, et un train de Via Rail sur la voie adjacente venant de la

direction opposée a aussi déraillé en heurtant les débris quelques temps avant que le premier train ne s'immobilise. L'accident a causé des blessures légères à six employés de Via Rail ainsi qu'à cinq passagers. Le tracteur tirait une plate-forme à plancher surbaissé qui transportait de la machinerie et le passage à niveau ne respectait pas les normes pour les passages à niveau publics quant aux pentes d'approche, celui-ci présentant en effet une pente ascendante de 6 p. cent. Néanmoins, comme c'était un passage à niveau de ferme, les normes s'y appliquant sont moins strictes. Le poids lourd s'est donc coincé sur les rails et le conducteur ne pouvait plus le déprendre, mais il n'a fait aucun appel d'urgence même après le déraillement. Outre le fait que la semi-remorque soit restée prise sur les rails, le BST a défini qu'une des causes de l'accident était que la construction et l'entretien de la surface de passage laissait à désirer car les roues arrière du tracteur semi-remorque se sont enfoncées dans les traverses de bois qui recouvraient un fossé de la voie d'accès. Une autre cause est l'ignorance du conducteur des moyens de communication d'urgence. Ce passage à niveau a par la suite été fermé car il a été jugé trop dangereux.

Rapport R00C0159

Le 19 décembre 2000 vers 20 h 37, la 21e voiture d'un train de marchandises de la Athabasca Northern Railway Ltd. a été heurtée par un tracteur semi-remorque à un passage à niveau d'Imperial Mills, en Alberta, causant le déclenchement automatique des freins d'urgence du train. À 23 h 47, alors que le train occupait encore le passage à niveau, un camion partiellement rempli de billots de bois est entré en collision avec le train de marchandises arrêté causant la mort du conducteur. Le conducteur du premier camion n'a aperçu les roues du train en mouvement sur les rails qu'à 200 m avant le passage à niveau et a tenté de freiner mais, quand il a constaté qu'il ne pourrait arrêter à temps, il a bifurqué vers le fossé mais a quand même heurté le train. Avant de remarquer le train, le conducteur s'est dit dérangé par le reflet dans ses miroirs du camion le suivant. Quant au deuxième conducteur, son décès a rendu la détermination des causes d'accident plus difficiles, mais la vitesse de l'impact, estimée à 68 km/h, indique fortement que le conducteur n'a pas vu le train. Lors de ce deuxième impact, le camion qui avait servi à déplacer le premier tracteur semi-remorque était le seul véhicule restant après le premier accident. Il était arrêté à la droite de la route avec ses feux clignotant activés et le camion de bois a contourné ce véhicule avant de heurter le train. Selon le BST, dans les deux cas, la visibilité du train était insuffisante pour pouvoir en déceler la présence dans un délai raisonnable, particulièrement dans le deuxième cas où l'immobilité du train le rendait encore plus difficile à voir. Aussi, le BST a déterminé que la faible réflectivité du train combinée avec la nature passive du passage à niveau et la haute limite de vitesse présentait un risque très élevé d'accident. Le comté de Lakeland où l'accident s'est produit a fait la demande au ministère des transports de l'Alberta d'installer un système d'avertissement actif, mais la demande a été refusée en raison du faible volume de circulation.

1.2.2 Facteurs techniques contributifs liés à la configuration et à la conception

Les facteurs techniques qui affectent la sécurité des passages à niveau sont majoritairement des facteurs découlant directement d'une mauvaise conception, d'un entretien négligé ou d'une utilisation de normes de conception et de vérification non sécuritaires.

D'un point de vue strictement technique, les lignes de visibilité aux abords du passage à niveau et les délais d'avertissement assurent la sécurité du passage à niveau. En excluant toute erreur humaine ou comportement dangereux, les délais d'avertissement et les lignes de visibilité permettent au conducteur de n'importe quel véhicule circulant normalement sur la route où se trouve le passage à niveau de s'assurer qu'aucun train ne s'approche du passage à niveau et ainsi qu'il peut traverser en toute sécurité ou encore qu'il dispose d'une distance suffisante pour s'arrêter dans le cas où un train s'approche. Néanmoins, ces lignes de visibilité et délais d'avertissement sont souvent inadéquats et peuvent causer des situations dangereuses sur lesquelles les conducteurs n'ont aucun contrôle, particulièrement dans le cas de véhicules longs et lourds (Coghlan, 1997).

Dans un premier temps, on note que les lignes de visibilité et temps d'avertissement devraient être basés sur les pires performances en termes de temps de passage et de distance de freinage des véhicules circulant sur la route où se trouve le passage à niveau. Toutefois, les caractéristiques des véhicules présentement utilisés pour la détermination de ces lignes de visibilité et temps d'avertissement ne sont plus à jour et ne représentent donc plus nécessairement les caractéristiques réelles des véhicules roulant actuellement sur nos routes (Caird, et coll., 2002 et Harwood, et coll., 1990).

Dans un deuxième temps, il faut noter que, dans un souci d'économie, les valeurs minimales deviennent souvent la norme. Par exemple, les résultats d'essais (accélération et freinage) faits dans des conditions idéales sont dans certains cas utilisés comme normes de conception alors que ces conditions idéales sont loin de la réalité du passage à niveau. Ces normes devraient plutôt être utilisées comme lignes directrices et les facteurs divergents des conditions idéales devraient être pris en compte lors de l'élaboration de normes de conception. La combinaison de cette situation et de normes ambiguës dont les divers facteurs correctifs sont mal compris et mal définis peut souvent mener à l'utilisation des normes minimales. Cette situation devrait être corrigée par l'application de normes plus simples, mieux adaptées et plus clairement explicitées (Caird, et coll., 2002, et Coghlan, 1997).

1.2.2.1 Ligne de visibilité pour véhicule à l'arrêt

La ligne de visibilité à l'arrêt est celle mesurée le long des voies ferrées pour un véhicule initialement à l'arrêt. Souvent, cette ligne de visibilité est basée sur un temps de passage minimal de 10 secondes, d'ailleurs encore prescrit par le projet RTD 10, même si plusieurs études ont montré que ce temps de passage était insuffisant pour des passages à niveau de plus d'une voie et pour les véhicules longs et lourds. De la même façon, le temps d'avertissement des passages à niveau actifs est souvent basé sur le temps de passage minimal de 20 secondes, aussi encore prescrit par le projet RTD 10, malgré que plusieurs études aient aussi montré que ce délai était souvent insuffisant (Coghlan, 1997, et Read, 1995).

Les temps de passage sont souvent basés sur les résultats d'essais réalisés pour la plupart sur terrain plat et dans des conditions idéales. Ces résultats ne sont pas suffisamment conservateurs, car plusieurs facteurs affectent le temps de passage d'un véhicule à un passage à niveau, tels que la présence de pentes et de dévers, la mauvaise qualité de la surface de passage et la différence de niveau entre les rails et la surface de passage. Le mauvais état de la surface de passage, observé à de nombreux passages à niveau, incite les conducteurs à ne pas accélérer à fond lors de la traversée de peur d'abîmer leur véhicule ou pour ne pas subir d'inconfort. La détermination du temps de passage devrait donc comporter un facteur de sécurité qui tiendrait compte de l'effet d'une dégradation éventuelle de la surface du passage à niveau (Coghlan, 1997).

La présence d'une intersection après le passage à niveau affecte également le temps de passage des véhicules. Une intersection ne peut être située à moins de 30 mètres du passage à niveau, mais un certain nombre de passages à niveau dérogent à cette règle. De plus, toute intersection rapprochée d'une voie ferrée a un impact sur le temps de passage de longs véhicules tels les trains routiers de type B. En effet, la présence d'une intersection oblige le conducteur d'un tel véhicule à débuter son freinage ou à arrêter d'accélérer alors que son véhicule n'a pas encore complètement dégagé le passage à niveau (Caird, et coll., 2002). Ceci augmente le temps de passage et il faudrait en tenir compte. De plus, dans le cas ou l'intersection se trouve trop rapprochée des voies ferrées, un véhicule long tel qu'un train routier de type B, pourrait être obligé de s'immobiliser partiellement sur les voies s'il doit faire un arrêt à l'intersection. Toutefois, l'utilisation de feux de circulation, synchronisés avec le système d'avertissement du train, pourrait permettre de régler ce type de problématique en permettant aux véhicules de dégager le passage à niveau avant l'arrivée d'un train.

De plus, divers règlements provinciaux obligent l'arrêt obligatoire et interdisent le changement de vitesse de certains véhicules aux passages à niveau. Ces diverses réglementations sont présentées à la section 1.3.4. Elles affectent directement le temps de passage des véhicules et devraient donc être prises en compte lors du calcul du temps de passage. Dans d'autres cas, on note que l'arrêt obligatoire permet de rendre sécuritaire un passage à niveau dont le triangle de visibilité ne pourrait être entièrement dégagé. Par ailleurs, pour la majorité des véhicules lourds, l'interdiction de changer de vitesse augmente significativement le temps de passage. Originalement, cette réglementation interdisant le changement de vitesse avait pour but d'éviter que certains véhicules ne restent coincés sur la voie si le conducteur ratait un changement de vitesse et, de plus, on considérait que pour de courts passages à niveau, cette méthode était plus rapide. Ceci n'est plus applicable aux véhicules lourds actuels qui sont équipés de transmissions beaucoup plus fiables qu'autrefois, ce qui réduit presque à néant le risque que la transmission reste bloquée et, d'autre part, comme elles possèdent un plus grand nombre de rapports qu'autrefois, l'accélération est plus rapide sur de courtes distances lorsqu'il y a changement de vitesse.

Un autre aspect qu'il est intéressant de considérer est que bien qu'un passage à niveau soit conçu en fonction des caractéristiques d'un certain véhicule type qui représente les pires performances de la majorité du trafic, il peut parfois y passer un véhicule dont les performances en accélération et en freinage sont moindres que celles du véhicule type utilisé pour la conception. Cette situation peut créer une condition dangereuse si ce véhicule traverse au mauvais moment. Néanmoins, comme cette situation devrait s'avérer plutôt rare, ce sont aux autorités routières et ferroviaires à évaluer ce risque et à déterminer s'il est raisonnable : il serait beaucoup trop coûteux de concevoir un passage à niveau en fonction du pire véhicule qui pourrait peut-être un jour y circuler. Une analyse de risque devrait donc être faite pour évaluer quel véhicule type il est pertinent d'utiliser pour la conception des passages à niveau (Coghlan, 1997).

1.2.2.2 Ligne de visibilité pour véhicule circulant à la vitesse légale

La distance de visibilité d'arrêt détermine le triangle de visibilité lorsqu'il n'y a pas d'arrêt obligatoire au passage à niveau ainsi que le délai d'avertissement pour les passages à niveau actifs. La distance de visibilité d'arrêt est la distance sur la route à partir de laquelle un conducteur devrait voir le passage à niveau avant d'y arriver et, dans le cas d'un passage à niveau passif, c'est aussi la distance sur la route à laquelle le conducteur devrait voir un train s'approchant. Ces distances doivent être telles que le conducteur puisse freiner lorsqu'il voit un train, mais devrait aussi lui permettre de passer en toute sécurité dans le cas contraire. Cette distance de visibilité devrait être basée sur la plus longue distance de freinage de l'ensemble des véhicules circulant sur la route du passage à niveau en question. Néanmoins, les distances de freinage présentement utilisées dans les normes de conception sont basées sur des essais de freinage réalisés il y a plus de 50 ans sur des automobiles avec roues bloquées. D'une part, nous croyons que les distances de freinage des véhicules lourds devraient être utilisées plutôt que celles d'automobiles et d'autre part ces véhicules ne peuvent, par manque de stabilité, sécuritairement effectuer un freinage avec roues bloquées. Quelques études ont d'ailleurs montré que les valeurs utilisées dans les normes sont inférieures aux distances réelles de freinage des véhicules lourds, les seules exceptions étant le freinage de véhicules lourds équipés de systèmes ABS. Comme tous les véhicules lourds ne sont pas généralement équipés d'un système ABS complet, et que le conducteur, dépendant de son expérience et de son habileté, n'est pas nécessairement en mesure de profiter de la capacité maximale des freins de son véhicule, il faudrait donc en tenir compte. Ainsi, tout porte à croire que les distances présentement utilisées pour déterminer les distances de visibilité d'arrêt ne sont pas sécuritaires (Harwood, et coll., 1990).

Par ailleurs, la méthode actuelle de calcul du triangle de visibilité qui est basée sur la vitesse légale pourrait rendre le passage à niveau non sécuritaire pour un véhicule dont la vitesse dévie de cette limite. En effet, si un véhicule dépasse la limite, son conducteur n'aura probablement pas la distance suffisante

disponible pour s'arrêter s'il remarque la présence d'un train. D'autre part, dans le cas où le véhicule se déplace à une vitesse inférieure à la vitesse limite, ce qui n'est pas rare car un grand nombre de conducteurs ont tendance à ralentir à l'approche d'un passage à niveau (Coghlan, 1997), et que son conducteur n'observe aucun train à l'approche d'un passage à niveau, il y aura quand même possibilité qu'un train se présente au passage à niveau avant le véhicule routier. Pour régler ce problème, il faudrait donc utiliser un facteur de sécurité, ce qui n'est pas actuellement le cas.

1.2.2.3 Entretien des lignes de visibilité

L'entretien des lignes de visibilité est un facteur important. En effet, dans plusieurs cas, ce ne sont pas les lignes de visibilité originales qui font défaut mais bien leur entretien puisque la végétation se développe et réduit les lignes établies au moment de la conception. Les lignes de visibilité doivent donc être entretenues régulièrement par les autorités qui en ont la responsabilité et aucun bâtiment ou amas de débris, d'équipement ou de matériaux ne doit y être bâti ou laissé (Read, 1995).

Par ailleurs, même si les lignes de visibilité sont bien conçues et bien entretenues, il faut noter que les conducteurs ne savent généralement pas exactement où celles-ci commencent et se terminent sur la route et les voies ferrées. Cette ignorance peut mener à des erreurs de jugement de la part de conducteurs. Par exemple, dans un champ où les lignes de visibilité sont beaucoup plus grandes que nécessaires, un conducteur pourrait croire qu'il a le temps de passer alors qu'il ne l'a pas. Pour remédier à cette lacune, des panneaux d'avertissement pourraient être placés aux extrémités des lignes de visibilité pour permettre aux conducteurs de prendre une décision sécuritaire (Read, 1995).

1.2.2.4 Problèmes de communication et autres facteurs techniques

Les problèmes de communication peuvent aussi affecter la sécurité des passages à niveau. En effet, la mauvaise circulation d'information entre les autorités municipales et les autorités ferroviaires peut créer certains problèmes. D'une part, lorsque les autorités ferroviaires n'ont pas une bonne estimation de la composition du trafic, qui est sous la responsabilité des autorités municipales, le choix du véhicule type utilisé pour la conception du passage à niveau pourrait ne pas être adéquat. D'autre part, si les responsabilités en matière d'entretien sont mal définies, les lignes de visibilité pourraient ne pas être dégagées régulièrement et ainsi causer une situation dangereuse. Il en est de même pour le partage des responsabilités de l'entretien des chaussées puisque pour un passage à niveau de plus d'une voie, la surface de passage entre les rails d'une même voie et celle juste autour sont de la responsabilité des autorités ferroviaires alors que la surface de la route entre les voies est de responsabilité municipale. Si ces deux autorités ne s'entendent pas, l'entretien et la réparation des surfaces peuvent être faits à des moments distincts et ainsi il pourrait s'avérer que la surface ne soit jamais en bon état.

D'autres facteurs techniques qui ne sont pas reliés directement aux lignes de visibilité peuvent aussi affecter la sécurité des passages à niveau. Entre autres, les panneaux d'avertissement avancés qui préviennent de l'approche d'un passage à niveau n'indiquent pas si le passage à niveau est actif ou passif, ce qui ne permet pas au conducteur de savoir ce qu'il doit faire. Pour un passage actif, le conducteur doit simplement s'assurer que les feux ne clignotent pas alors que pour un passage passif, il doit chercher la présence d'un train. Étant donné qu'environ 20 p. cent des conducteurs ne savent pas qu'il existe des passages à niveau passifs, il est possible que ces conducteurs interprètent l'absence de signaux comme une absence de trains (Caird, et coll., 2002).

Une cause de collision propre aux passages à niveau à voies multiples est le passage d'un deuxième train immédiatement après un premier train. Le conducteur d'un véhicule arrêté devant l'un de ces passages à niveau pourrait décider de traverser les voies dès que le premier train a fini de passer et alors qu'un deuxième train, caché par le premier, s'approche de la direction opposée. Dans le cas de passages à

niveau actifs, plusieurs études ont suggéré des pancartes lumineuses s'allumant lors de l'arrivée d'un deuxième train, alors que pour les passages à niveau passifs, seule une pancarte indiquant l'arrivée potentielle d'un deuxième train pourrait être utilisée. Il faut toutefois noter que les passages à niveau passifs à voies multiples sont très rares.

Les statistiques sur les causes d'accident ont fait également ressortir que le risque de collision à un passage à niveau est sept fois plus élevé si la route est parallèle aux voies ferrées et que les véhicules routiers voyagent dans la même direction que le train. En effet, le conducteur d'un véhicule s'approchant alors du passage à niveau pourra avoir de la difficulté à voir la présence d'un train qui arrive derrière lui. La modification de la route, pour qu'elle croise les voies ferrées à 90 degrés, et l'installation d'un arrêt obligatoire pourraient grandement réduire ce risque d'accident (Caird, et coll., 2002).

Finalement, les circonstances de certains accidents permettent de croire que des véhicules s'arrêtent entre les barrières protectrices, car leur délai de descente n'est pas bien calibré. Ainsi, le calcul du temps de descente et du délai entre l'activation des feux et le début de descente des barrières devrait être revu (Coghlan, 1997).

1.2.3 Facteurs humains contributifs

Tel que mentionné précédemment, les facteurs humains sont souvent l'une des principales causes des collisions aux passages à niveau. La plupart de ces facteurs peuvent être regroupés dans trois catégories, soit : la prise de risque, l'inattention et le comportement non sécuritaire inconscient.

1.2.3.1 Prise de risque

Un comportement qui est commun à beaucoup de conducteurs est le «stop américain». Le fait de ne pas faire un arrêt complet fait en sorte que, d'une part, le conducteur dispose d'un temps plus court pour déceler la présence d'un train. De plus, l'observation faite alors que le véhicule est encore en marche peut faire que la distance est alors insuffisante pour s'immobiliser (Coghlan, 1997).

Selon Caird (2002), un autre comportement non sécuritaire imputable à une prise de risque est l'omission de faire un arrêt obligatoire à un passage à niveau. À certains passages à niveau, aucun arrêt obligatoire n'est installé, et dans ce cas il est plus sécuritaire de continuer son chemin à la vitesse permise sur la route. Toutefois, lorsqu'un arrêt obligatoire est installé, il est normalement plus sécuritaire d'effectuer un arrêt. En effet, un arrêt obligatoire est alors installé soit parce qu'il est impossible de dégager un triangle de visibilité suffisant ou pour d'autres raisons similaires. À ces passages à niveau, l'omission de faire l'arrêt obligatoire peut empêcher le conducteur d'un véhicule de voir un train arriver à temps pour qu'il puisse immobiliser son véhicule avant la voie ferrée.

L'omission de vérifier visuellement l'approche d'un train est un autre type de comportement non sécuritaire intentionnel. Ce comportement peut être attribuable à plusieurs facteurs et n'est pas nécessairement intentionnel. En effet, un certain nombre de conducteurs croient que tous les passages à niveau sont actifs et ainsi, ne pas observer pour la présence d'un train est un comportement naturel puisqu'ils estiment qu'un système va les avertir de la présence d'un train, et ce même si le passage à niveau est passif.

Les statistiques montrent également qu'un bon nombre d'accidents étaient dus à des conducteurs qui essayaient de «battre le train», c'est-à-dire qui tentaient de passer en avant probablement pour ne pas avoir à s'arrêter au passage à niveau. Un autre comportement à risque consiste à tenter de traverser le passage à niveau même si les feux clignotants ont commencé à clignoter ou même si les barrières ont commencé à descendre. Plusieurs facteurs peuvent être à la base de ces deux dernières causes d'accident,

mais l'impatience au volant est sans doute le facteur principal pouvant porter les conducteurs à poser de tels gestes. En effet, l'impatience est reconnue comme l'un des facteurs à la base du nombre de collisions, que ce soit sur la route en général ou aux passages à niveau.

Une autre cause de collisions aux passages à niveau, qui a été identifiée par Wigglesworth en 1979, est la familiarité avec le passage à niveau. Cette familiarité est un facteur de risque qui est à la base de plusieurs comportements dangereux qui sont souvent la cause de collisions. L'un des comportements à risque identifié est d'assumer que l'horaire du train est toujours le même : lorsque le conducteur connaît bien le passage à niveau, il finit par bien connaître l'horaire des trains et lorsqu'il traverse le passage à niveau à une heure où il pense qu'aucun train ne sera présent, il a tendance à ne pas prendre les précautions nécessaires à l'approche du passage à niveau et s'attarde moins à vérifier la présence d'un train. Néanmoins, les trains ne sont pas toujours à l'heure et le conducteur pourrait alors se retrouver dans une situation de collision potentielle (Caird, et coll., 2002).

Un autre comportement dangereux qui peut aussi être causé par la familiarité avec le passage à niveau est la perte de confiance dans le système d'avertissement si celui-ci est conçu en fonction d'un véhicule type dont les performances sont beaucoup moins bonnes que celui du conducteur en question (par exemple un automobiliste passant à un passage à niveau conçu pour un train routier de type B). En effet, le délai d'avertissement étant beaucoup plus long que ce que le conducteur perçoit comme nécessaire, ce dernier devient impatient, perd confiance dans le système d'avertissement et, éventuellement, décide de passer même si les feux clignotent. Cette situation devrait être étudiée plus en détail, car il a été déterminé qu'après 30 secondes d'avertissement sans l'arrivée d'un train, beaucoup d'automobilistes deviennent impatients et décident de traverser. Un grand nombre de passages à niveau sont conçus avec des temps d'avertissement de 30 secondes ou plus, car des véhicules longs et lourds les traversent souvent et de longs délais d'avertissement sont le seul moyen d'assurer la sécurité de la traversée. Pour diminuer ces comportements dangereux liés à l'impatience causée par de longs temps d'avertissement tout en conservant la sécurité des véhicules longs et lourds, on pourrait probablement recommander dans certains cas l'installation de barrières.

La conduite avec facultés affaiblies est un autre comportement à risque qui est la cause d'un grand nombre de collisions. Cette conduite avec facultés affaiblies peut avoir diverses origines telles que la fatigue, l'alcool, les drogues ou les médicaments. Ce comportement peut être encore plus dangereux aux passages à niveau car, sur la route, les autres véhicules peuvent, dans certains cas, composer avec un conducteur aux facultés affaiblies et l'éviter s'il y a lieu, mais un train ne peut ni s'arrêter ni tenter d'éviter un véhicule routier (Caird, et coll., 2002).

1.2.3.2 Inattention

L'inattention des conducteurs est également une cause majeure de collisions aux passages à niveau. Cette inattention n'est généralement pas un comportement intentionnel résultant d'une prise de risque, mais peut néanmoins être attribuable à diverses situations ou comportements non sécuritaires. Cette inattention peut faire en sorte que le conducteur omette de vérifier la présence d'un train, ne remarque même pas la présence d'un passage à niveau ou ne remarque sa présence trop tardivement pour réagir à temps. Cette inattention du conducteur est imputable, dans la majorité des cas, à une distraction quelconque vers laquelle l'attention de ce conducteur est tournée.

Plusieurs types de distractions qui ont été à la base de collisions à des passages à niveau ont été identifiés. Une de ces distractions, qui pourrait aussi être la cause de plusieurs collisions sur la route en général, est l'utilisation du téléphone cellulaire au volant. Ce comportement non sécuritaire peut causer beaucoup de distraction au conducteur; d'une part, celui-ci peut porter une grande attention à la discussion qu'il a au téléphone, peut détourner son regard de la route si son téléphone sonne et d'autre part n'utilise qu'une

main pour conduire puisque son autre main tient le téléphone. Avec la prolifération des téléphones cellulaires ce comportement est de plus en plus répandu et crée de plus en plus de comportements à risque (Caird, et coll., 2002 et Peters, et coll., 2002).

Au même titre que le téléphone cellulaire, les passagers peuvent aussi être une source de distraction pour le conducteur. De plus, la présence d'enfants bruyants à l'arrière du véhicule peut aussi être une grande source de distraction pour le conducteur dont l'attention et le regard peuvent souvent se détourner pour calmer les enfants. Une autre distraction qui a été identifiée comme cause de collisions à des passages à niveau est la manipulation des contrôles de la radio ou du chauffage/air climatisé. À ce moment, l'attention du conducteur se porte plus vers les contrôles du tableau de bord et son regard se détourne souvent de la route (Caird, et coll., 2002).

L'attitude mentale est un autre facteur qui peut causer l'inattention du conducteur d'un véhicule. De profonds raisonnements peuvent souvent requérir presque toute l'attention d'un conducteur et l'attention qu'il peut alors diriger vers la route et la présence d'un train en est alors limitée. Cette attitude mentale peut être le résultat d'un processus cognitif, d'un questionnement ou de sentiments violents. Quelques cas de collisions ont été recensés où l'attitude mentale était à la base de la collision.

Toujours selon Caird (2002), la présence d'une intersection à proximité du passage à niveau peut affecter l'attention des conducteurs. La présence d'une telle intersection, surtout si elle est très achalandée, peut porter le conducteur à concentrer son attention sur celle-ci plutôt qu'à vérifier si un train s'approche du passage à niveau.

1.2.3.3 Comportement non sécuritaire inconscient

Quelques autres comportements dangereux à la base de collisions aux passages à niveau ont été identifiés. Néanmoins, bien que ces comportements ne soient pas sécuritaires, ils sont souvent inconscients ou non intentionnels. Généralement, ces comportements sont attribuables à l'ignorance des conducteurs à propos des passages à niveau et de leurs dangers. Citons par exemple un conducteur porté à ralentir pour pouvoir bien regarder d'un côté et de l'autre d'un passage à niveau, parce qu'il pense qu'il pourra ainsi avoir plus de temps pour freiner s'il remarque la présence d'un train, ou tout simplement pour subir moins d'inconfort lorsqu'il passe sur le passage à niveau. Ce ralentissement qui peut sembler être sécuritaire à première vue peut souvent être dangereux. En effet, les passages à niveau sont conçus pour des véhicules circulant à la vitesse légale et circuler moins vite peut faire en sorte que le véhicule ne dispose plus de la distance suffisante pour s'immobiliser avant le passage à niveau ou du temps requis pour le traverser (Caird, et coll., 2002 et Read, 1995).

De même, certaines personnes considèrent les feux clignotants des passages à niveau comme équivalents à ceux qui se trouvent ailleurs sur le réseau routier, c'est-à-dire comme des arrêts obligatoires alors qu'en réalité les feux rouges clignotants aux passages à niveau sont l'équivalent d'un feu rouge fixe. Cette mauvaise interprétation du rôle des feux d'avertissement aux passages à niveau peut facilement mener à une collision car, dans plusieurs cas, ces feux d'avertissement sont installés parce qu'il n'est pas possible, à cet endroit, d'apercevoir le train dans un délai suffisant pour réagir (Caird, et coll., 2002).

En fait, la plupart des usagers des passages à niveau ne savent pas que les lignes de visibilité et les délais d'avertissement sont basés sur les temps de passage minimaux, ce qui peut entraîner divers autres comportements dangereux non conscients (Caird, et coll., 2002 et Coghlan, 1997).

1.2.3.4 Autres facteurs

Quelques autres facteurs humains pouvant être la cause ou un facteur contributif à une collision à un passage à niveau n'ont pu être classifiés dans les trois catégories précédentes, en voici quelques-uns qui ont été répertoriés dans la littérature.

Tout d'abord, un facteur, identifié par Caird, est la non-reconnaissance de la présence d'un train lors de la traversée d'un passage à niveau. Cette non-reconnaissance peut être attribuable soit à une distraction quelconque, à un manque de jugement ou à des lignes de visibilité insuffisantes ou obstruées. Comme il a déjà été mentionné, les accidents sont rarement imputables à une seule et unique cause, mais plutôt à un ensemble de facteurs contributifs. C'est particulièrement le cas pour ce facteur humain, bien que le fait de ne pas reconnaître le train à temps soit la cause directe d'une collision, cette non-reconnaissance est souvent attribuable à un autre facteur, qu'il soit humain ou technique. Évidemment, la reconnaissance tardive du train est un facteur très similaire à ce dernier.

Toujours selon Caird, si le conducteur, lors de son approche du passage à niveau, identifie la présence d'un train, cela ne veut pas toujours dire que la collision pourra être évitée. Évidemment, outre les divers facteurs techniques qui pourraient alors mener à une collision, il y a aussi la possibilité que le conducteur ne soit pas en mesure d'identifier les actions qui pourraient lui permettre d'éviter la collision. Par exemple, s'il s'apprête à traverser un passage à niveau passif et qu'à un point quelconque entre les rails et la distance de visibilité d'arrêt, il aperçoit un train s'approcher du passage à niveau, il se peut qu'au lieu de continuer sécuritairement son chemin (supposant que le passage à niveau est bien conçu), il ait le réflexe de freiner alors qu'il n'a possiblement pas la distance suffisante pour le faire avant les rails. La situation contraire pourrait aussi être vraie, un conducteur pourrait croire qu'il a le temps de passer alors que le réflexe sécuritaire serait de freiner. Ce facteur est principalement attribuable à un manque d'éducation des conducteurs au sujet des actions à entreprendre lors de la traversée d'un passage à niveau.

Un dernier facteur, dont une partie de la cause est attribuable à une mauvaise conception des passages à niveau, est la visibilité réduite des trains lorsque la route traversant les voies arrive parallèlement aux voies juste avant le croisement et que le train arrive de l'arrière du champ de vision du conducteur. En effet, Berg (1981) a démontré que le risque d'accident est alors sept fois plus élevé. Bien qu'on puisse croire que cela n'est qu'un facteur technique, il est autant attribuable au côté humain car si les lignes de visibilité sont bien dégagées, le conducteur devrait être en mesure de pouvoir voir le train s'approcher s'il tourne la tête suffisamment. Néanmoins, c'est sur ce dernier point qu'il peut y avoir problème, car un conducteur regarde très rarement derrière lui (outre son rétroviseur et son angle mort) dans la partie arrière de l'angle mort dans laquelle pourrait se retrouver le train.

1.2.4 Facteurs environnementaux et circonstanciels contributifs

Les facteurs environnementaux et circonstanciels contributifs sont généralement ceux qui peuvent affecter la visibilité des trains.

Tout d'abord, comme dans beaucoup d'accidents de la route, la météo peut être un facteur important d'accident. La présence de glace peut rendre la chaussée glissante et ainsi augmenter les distances de freinage et réduire l'accélération maximale que les véhicules peuvent atteindre. Comme il serait beaucoup trop coûteux et parfois même moins sécuritaire de concevoir les passages à niveau pour des conditions de route glacée, cette condition peut causer un danger, particulièrement pour les véhicules dont les performances sont similaires à celles du véhicule type utilisé pour la conception. Les distances de visibilité d'arrêt et temps d'accélération de ces véhicules deviennent alors plus longs que ceux utilisés pour la conception du passage à niveau. D'autre part, des conditions météo comme la neige, la pluie intense, le brouillard ou la poudrerie peuvent affecter la visibilité des trains aux passages à niveau,

particulièrement dans le cas des passages à niveau passifs. Le reflet du soleil a aussi été identifié comme cause d'accident. Particulièrement, au lever et au coucher du soleil, celui-ci peut aveugler un conducteur lorsque qu'il tente d'observer si un train s'en vient. À d'autres périodes de la journée, le soleil peut aussi créer des reflets dans le pare-brise qui peuvent aussi limiter la visibilité. Finalement, un véhicule mal stationné ou un banc de neige entassé au mauvais endroit peut aussi obstruer les lignes de visibilité. Cette situation a déjà été répertoriée comme cause d'accident dans le passé (Caird, et coll., 2002).

1.3 Réglementation en vigueur

Avant 1980, les passages à niveau canadiens devaient être conformes aux normes de conception et d'inspection exposées dans l'ordonnance générale E-4 de l'ancienne Commission canadienne des transports (CCT). Cette ordonnance fut remplacée en 1980 par l'ordonnance CCT 1980-8 RAIL qui a elle-même subit quelques modifications en 1985. Cette ordonnance énonce les procédures à suivre lors de la construction d'un passage à niveau, les spécifications que doivent contenir ses plans et certaines normes minimales visant la qualité de la surface de croisement, les déclivités des abords du passage ainsi que la signalisation. Selon la Loi sur la sécurité ferroviaire, cette ordonnance est encore en vigueur.

Néanmoins, étant donné le manque de précision des normes de conception et d'inspection des passages à niveau, Transports Canada a initié il y a plusieurs années un projet majeur d'amélioration et de mise à jour de sa réglementation sur les passages à niveau. Un nouveau règlement, le projet RTD 10, vise à établir des normes de conception et d'entretien des passages à niveau qui sont beaucoup plus complètes que celles qui figurent dans le règlement existant. Bien qu'elle ne soit ni officielle, ni finale, sa dernière version [Projet RTD 10 – *Normes techniques et exigences concernant l'inspection, les essais et l'entretien des passages à niveau rail-route* (qui accompagne le *Règlement sur les passages à niveau*)] datée du 14 juin 2002 est tout de même utilisée pour la conception des passages à niveau. Lorsque sa version finale sera présentée, ce document sera cité en référence de la Loi sur la sécurité ferroviaire qui régit l'ensemble des activités ferroviaires canadiennes. En attendant, la greffière adjointe du Conseil privé de Transports Canada a introduit le projet RTD 10 comme référence, mais cette modification n'est pas encore en vigueur. Avant d'être adoptée officiellement, une prochaine version du projet RTD 10 tiendra compte des études en cours de réalisation, notamment la présente étude sur l'impact des véhicules lourds sur la sécurité des passages à niveau. Comme ce projet a un impact majeur sur la sécurité des passages à niveau, il est traité en détail à la section 1.3.3.

Plusieurs lois, règlements et normes ont un impact direct sur la sécurité des passages à niveau et plus particulièrement sur celle des véhicules lourds traversant les passages à niveau. Citons principalement le «*Guide canadien de conception géométrique des routes*» produit par l'Association des transports du Canada, le «*Guide des normes de charges et dimensions des véhicules*» du ministère des Transports du Québec, le projet RTD 10 bien sûr, ainsi que certaines dispositions des codes de la route respectifs des diverses provinces canadiennes. Les sections suivantes en offrent un aperçu.

1.3.1 Normes canadiennes de conception géométrique des routes

L'Association des transports du Canada publie le «*Guide canadien de conception géométrique des routes*» qui prescrit les normes à utiliser dans la conception des divers aspects des constructions routières canadiennes, notamment celles des passages à niveau. Les normes de conception du projet RTD 10 sont presque entièrement basées sur ce guide, en particulier quant aux normes portant sur les pentes d'approches maximales à un passage à niveau ainsi que sur les distances de freinage et les courbes d'accélération de divers véhicules types.

Le rôle des normes de conception est de mettre à la disposition des concepteurs l'information qui permettra de choisir la combinaison appropriée des caractéristiques et des dimensions pour une conception particulière. Néanmoins, il est important de réaliser que les normes de conception ne peuvent couvrir toutes les conditions spécifiques à chaque site. Ainsi, des dimensions de conception qui ne respectent pas les normes ne résultent pas nécessairement en une conception inacceptable et des dimensions qui rencontrent les normes ne garantissent pas nécessairement une conception sécuritaire. Toute conception doit être faite avec jugement. De plus, les normes sont souvent basées sur les caractéristiques et dimensions actuelles et prévues des véhicules, sur le comportement et les performances des conducteurs et sur la technologie actuelle. Comme ces caractéristiques varient dans le temps, les normes doivent être révisées et mises à jour périodiquement.

1.3.1.1 Passages à niveau

Les normes de conception des passages à niveau présentées dans le «*Guide canadien de conception géométrique des routes*» sont presque toutes reprises dans le projet RTD 10 et nous en discuterons donc plus loin. Toutefois, la norme visant la différence de pente permise entre la surface de passage et les approches routières n'est pas incluse dans le projet RTD 10. Comme cette norme peut affecter le passage des véhicules de type tracteur avec semi-remorque à châssis surbaissé (ou *Low-Boy*), nous croyons qu'elle devrait être reprise dans le projet RTD 10 pour régler le problème de passage de ce type de véhicule. En traduction libre, cette norme se lit comme suit :

«À tous les passages à niveau dotés de voies en dévers, le profil de la route devrait incorporer des courbes verticales suffisantes pour assortir le plan de la surface de passage et pour permettre de maintenir la vitesse maximale de la route. Toute déviation de cette pratique pourrait causer de l'inconfort aux occupants des véhicules. Néanmoins, cette déviation ne serait pas répréhensible en autant que les valeurs de différence de pente entre le plan des rails et la route montrée au tableau 6 (tableau 2.3.13.1) ne sont pas dépassées. Par ailleurs, dans le cas de passages à voies multiples, les valeurs retenues devraient être bien au delà des valeurs indiquées au tableau 6 (tableau 2.3.13.1).»

Tableau 6 (Tableau 2.3.13.1 des Normes de conception géométriques) – Différence de pente entre le plan des rails et la route

Classification de la route	Différence de pente acceptable (%)
RLU	2
RCU	1
RCD	1
RAU	0
RAD	0
RFD	-
ULU	3
UCU	2
UCD	2
UAU	0

Des définitions plus précises des types de route sont présentées dans le guide. Toutefois, la classification des routes est telle que définie ci-dessous (en anglais) :

1re lettre
- R : Rural
- U : Urban

2e lettre
- L : Local
- C : Collector
- A : Arterial
- E : Expressway
- F : Freeway

La 3e lettre définit si la route est divisée ou non
- D : Divided
- U : Undivided

L'analyse de la problématique spécifique découlant de l'utilisation des passages à niveau dotés de pentes critiques par des tracteurs semi-remorques de type fardier dotés de châssis surbaissés qui peuvent rester coincés sur les voies ou les endommager est présentée à l'Annexe B. Le problème est traité à l'aide d'une évaluation géométrique en fonction des normes actuelles et de la norme RTD 10 projetée pour le profil de véhicule le plus critique disponible sur le marché. L'analyse effectuée permet de déterminer que le projet RTD 10 permet de grandement améliorer la problématique du passage de véhicule à châssis surbaissée aux passages à niveau. En effet, dans le pire cas, il y a une distance de dégagement verticale entre le châssis du véhicule et les rails, même si elle reste toutefois relativement faible. En comparaison, les normes actuelles permettent une interférence verticale maximale d'environ 15 cm entre le châssis et les rails pour les cas les plus critiques. Ceci est clairement inadéquat et peut provoquer des incidents et l'endommagement des véhicules routiers et des rails. Même si le projet RTD 10 corrige grandement cette problématique, l'entretien des rails et de la route ainsi que le bon état mécanique des véhicules sont toutefois des conditions nécessaires à une traversée sécuritaire de ce type de véhicule, et ce même avec les modifications apportées avec l'élaboration du projet RTD 10.

1.3.1.2 Temps de perception-réaction des conducteurs

Le «*Guide canadien de conception géométrique des routes*» définit aussi les temps de perception-réaction à utiliser dans la conception, ces temps étant bien documentés et généralement acceptés. Ils figurent au tableau 7 :

Tableau 7 (Tableau 1.2.2.1 des Normes de conception géométriques) – Domaine de conception du temps de perception et de réaction

Temps de perception et réaction	Applicabilité
0,5 – 2 s	Réaction d'un conducteur alerte à un stimulus simple
2,5 s	Valeur utilisée typiquement et étant représentative de 90 % des conducteurs et des situations
3,0 – 4,5 s	Réaction d'un conducteur non alerte à un stimulus complexe ou difficile à voir

1.3.2 Normes de charges et dimensions des véhicules lourds

Au Québec, le «*Guide des normes de charges et dimensions des véhicules*» du ministère des Transports du Québec définit les poids et les dimensions maximales des divers types de véhicules lourds. Ces normes québécoises correspondent, dans leurs grandes lignes, à ce qui existe ailleurs au Canada. Il faut toutefois remarquer qu'aux États-Unis, les normes diffèrent d'un État à un autre pour ce qui est du trafic sur route secondaire. Ces caractéristiques, de charges et de dimensions, ont une influence importante sur les performances et, incidemment, sur les calculs des lignes de visibilité et des délais d'avertissement qui en découlent.

Les poids et dimensions réglementés, qui sont par ailleurs réduits lors de la période de dégel, dépendent généralement du type de véhicule et du nombre d'essieux. Au Québec, ils sont les suivants :

1 Camion porteur à 2 essieux
Longueur maximale : 12,5 m
Poids maximal : 17 250 kg

2 Camion porteur à 3 essieux
Longueur maximale : 12,5 m
Poids maximal : 25 250 kg

3 Camion porteur à 4 essieux
Longueur maximale : 12,5 m
Poids maximal : 32 000 kg

4 Tracteur semi-remorque à 3 essieux/Porteur à 2 essieux – remorque à 1 essieu
Longueur maximale : 23 m
Poids maximal : 25 500 kg

5 Tracteur semi-remorque à 4 essieux/Porteur à 2 essieux – remorque à 2 essieux
Longueur maximale : 23 m
Poids maximal : 35 500 kg

6 Tracteur semi-remorque à 5 essieux
Longueur maximale : 23 m
Poids maximal : 41 500 kg

7 Porteur à 2 essieux – remorque à 3 essieux/Porteur à 3 essieux – remorque à 2 essieux
Longueur maximale : 23 m
Poids maximal : 43 500 kg

8 Porteur à 3 essieux – remorque à 3 essieux/Porteur à 4 essieux – remorque à 2 essieux
Longueur maximale : 23 m
Poids maximal : 51 500 kg

9 Porteur à 3 essieux – remorque à 4 essieux/Porteur à 4 essieux – remorque à 3 essieux
Longueur maximale : 23 m
Poids maximal : 55 500 kg

10 Trains routiers de type A
Longueur maximale : 25 m
Poids maximal : 53 500 kg

11 Trains routiers de type B et C
Longueur maximale : 25 m
Poids maximal : 59 000 kg

12 Autobus
Longueur maximale : 14 m
Poids maximal : ND

13 Autobus articulé
Longueur maximale : 18,5 m
Poids maximal : ND

Par ailleurs, en ce qui concerne les tracteurs semi-remorques forestiers utilisés pour le transport de bois en longueur sur des chemins publics, la longueur maximale de l'ensemble des véhicules peut être augmentée de six mètres de manière à tenir compte du bois placé en porte-à-faux à l'arrière de la semi-remorque.

1.3.3 Projet RTD 10 – Normes techniques et exigences concernant l'inspection, les essais et l'entretien des passages à niveau rail-route

Le projet RTD 10, initié pour pallier au manque évident de normes précises pour la conception et l'inspection des passages à niveau, est en développement depuis plusieurs années. Bien qu'il ne soit pas encore officiellement en vigueur, il est quand même utilisé au Canada pour la conception de nouveaux passages à niveau.

Le projet RTD 10 est subdivisé en quatre parties :

- introduction;
- normes de conception;
- exigences techniques concernant les systèmes d'avertissement de passage à niveau;
- entretien, inspection et essais.

En fait, seules certaines sections de la partie *Normes de conception* sont d'intérêt ici et feront l'objet d'une analyse plus approfondie. Il s'agit principalement des sections qui traitent de la détermination des lignes de visibilité et de celles qui ont un impact sur les lignes de visibilité. Ces sections sont présentées dans le même ordre que dans le projet, bien qu'une restructuration de l'ordre de ces sections serait probablement avantageuse pour aider à la compréhension du projet de norme.

1.3.3.1 Choix d'un véhicule type

Étant donné que la conception d'un passage à niveau doit tenir compte de la longueur et des performances de freinage et d'accélération des véhicules qui l'utilisent, le projet RTD 10 propose, dans un premier temps, de choisir un véhicule type parmi les classes de véhicules définies dans le «*Guide canadien de conception géométrique des routes*». Ces classes sont montrées au tableau 8, mais comme elles ont été définies pour déterminer plusieurs caractéristiques des routes dont certaines, comme le rayon de virage, n'ont aucun impact sur la conception des passages à niveau, on peut se demander si elles sont appropriées pour la conception des passages à niveau.

Tableau 8 – Classes de véhicules (projet RTD 10)

[Tableau 4-1 : Véhicules usuels]

Classe	Description générale des véhicules	Longueur (m)
Voiture	1. Voitures de tourisme, fourgonnettes et camionnettes (P)	5,6
Camions		
Camions porteurs	2. Camions porteurs légers	6,4
	3. Camions porteurs, poids moyens	10,0
	4. Camions porteurs lourds	11,5
Tracteurs remorques	5. Tracteurs semi-remorques WB-19	20,7
	6. Tracteurs semi-remorques WB-20	22,7
Trains doubles	7. Trains doubles de type A (ATD)	24,5
	8. Trains doubles de type B (BTD)	25,0
Autobus	9. Autobus standard (B-12)	12,2
	10. Autobus articulés (A-BUS)	18,3
	11. Autobus interurbains (I-BUS)	14,0

Une fois les classes de véhicules définies, le choix du véhicule type s'effectue, tel que montré au tableau 9, en fonction du type de région et du type de route de l'environnement immédiat du passage à niveau à concevoir.

Bien qu'elle permette de cerner certaines caractéristiques requises pour la conception du passage à niveau, cette sélection semble passablement rigide puisque le type de véhicule qui peut circuler sur une route dépend de facteurs multiples qui ne peuvent, à priori, être réduits à un type de route et à une région.

1.3.3.2 Distance de visibilité d'arrêt

Le projet RTD 10 définit ensuite la distance de visibilité d'arrêt comme étant la distance requise pour que le conducteur d'un véhicule qui s'approche d'un passage à niveau puisse s'immobiliser avant le passage à niveau s'il voit un train arriver dans le cas d'un passage à niveau passif, ou si les signaux lumineux s'allument dans le cas d'un passage à niveau actif.

Cette distance est la somme de la distance parcourue durant le temps de perception et de réaction du conducteur du véhicule et de la distance de freinage de ce véhicule lorsqu'il roule à la limite de vitesse prescrite. Le projet de norme suggère les formules suivantes pour calculer la distance de freinage ainsi que la distance de visibilité d'arrêt :

Il faut noter que les valeurs du tableau 10 (4.4) ont été obtenues à la suite d'essais réalisés, en 1950, avec des automobiles avec roues bloquées sur asphalte mouillée et tout porte à croire que ces distances de freinage ne sont pas représentatives des capacités des véhicules modernes.

L'équation précédente est directement tirée des relations de la dynamique pour un mouvement à accélération constante et du «*Guide canadien de conception géométrique des routes*», mais il faut noter qu'elle ne tient pas compte du type de véhicule, bien que l'on propose une modification pour les camions sans toutefois mentionner exactement la modification à utiliser. Toutefois, le tableau 11 donne directement les valeurs à utiliser pour déterminer la distance de visibilité d'arrêt d'une voiture ou d'un camion en fonction de la vitesse maximale permise de la route.

Tableau 9 – Sélection du véhicule type (projet RTD 10)

[Tableau 4-3 : Sélection du véhicule type]

Utilisation de la route	Description	Véhicules types
Chemin local desservant des résidences saisonnières	Régions fréquentées en été ou en hiver	Camion porteur
Région touristique	Véhicule récréatif automoteur ou remorqué	Camion porteur; véhicules récréatifs spéciaux
Région agricole	Passages à niveau de chemins de ferme privés ou de chemins publics locaux	Camions porteurs, autobus, tracteurs semi-remorques, trains doubles de type B ou véhicules spéciaux, comme tracteurs agricoles avec remorques, machines agricoles remorquées ou grosses moissonneuses combinées automotrices
Routes d'accès à des immeubles résidentiels	Où la circulation est presque exclusivement locale	Voitures de tourisme, fourgonnettes et camionnettes
	Où les usagers conduisent des gros camions ou des véhicules spéciaux	Camions porteurs, tracteurs semi-remorques ou véhicules récréatifs spéciaux
Zone industrielle	Routes privées	Camions porteurs, tracteurs semi-remorques, trains doubles de type A ou B, ou véhicules spéciaux, machine ou longs véhicules combinés
	Passage à niveau public à l'intérieur d'un secteur industriel	Véhicules combinés
	Routes d'accès à des ressources naturelles	Camions porteurs, tracteurs semi-remorques ou véhicules combinés, véhicules spéciaux – gros camions hors route d'une exploitation minière ou semi-remorques longues pour le transport des grumes
Chemin local de secteurs résidentiels	Utilisés régulièrement par des véhicules de livraison, des camions de déménagement, des véhicules d'entretien des routes et des camions à ordures	Camions porteurs, autobus
Routes d'accès de secteurs résidentiels	Utilisées régulièrement par des véhicules de livraison, des camions de déménagement, des véhicules d'entretien des routes, des camions à ordures ou des autobus	Camions porteurs, autobus
Routes de dégagement urbaines ou rurales		Véhicules combinés, autobus
Itinéraires désignés pour les camions		Véhicules combinés
Itinéraires désignés pour les véhicules spéciaux		Véhicules spéciaux – véhicules allongés pour le transport des grumes ou véhicules combinés allongés

Tableau 10 – Formule de calcul de la distance de visibilité d'arrêt (projet RTD 10)

$$D = \frac{V^2}{2gf} = \frac{V^2}{2(9.81)f} \times \frac{1000^2}{3600^2} = \frac{V^2}{254f}$$ [Equation 1.2.4 des *Normes canadiennes de conception géométrique*]

où d = distance de freinage (m)
V = vitesse maximale admissible sur la route (km/h)
f = coefficient de frottement entre les pneus et la chaussée [Tableau 4.4]
g = 9.81 m/s²

puis SSD = 0.278tV + d [Equation 1.2.5 des *Normes canadiennes de conception géométrique*]

ou SSD = distance de visibilité d'arrêt (de l'anglais *Stopping Sight Distance*) (m)

t = délai de perception et de réaction de 2.5 secondes

Tableau 4-4 : Coefficient de frottement sur chaussée humide ou en gravier

Vitesse maximale admissible sur la route (km/h)	Coefficient de frottement (f)
30	0,40
40	0,38
40 – 50	0,35
55 – 60	0,33
63 – 70	0,31
70 – 80	0,30
77 – 90	0,30
85 – 100	0,29
91 – 110	0,28
98 – 120	0,28

Tableau 11 – Distances de visibilité d'arrêt (projet RTD 10)

Tableau 4-5 : Distances de visibilité d'arrêt (terrain plat, sur chaussée humide ou en gravier)

Vitesse maximale admissible sur la route (km/h)	Classe voiture (m)	Camions (m)
40	45	70
50	65	110
60	85	130
70	110	180
80	140	210
90	170	265
100	210	330
110	250	360

Pour tenir compte de la déclivité de la route, il faut alors utiliser l'équation suivante (réf. : projet RTD 10) :

$$d = \frac{V^2}{254 (f \pm G)}$$ [Equation 1.2.6 des *Normes canadiennes de conception géométrique*]

où G = le rapport de déclivité (en %) divisé par 100 (positif pour les montées, négatif pour les descentes).
V = vitesse maximale admissible sur la route (km/h)
f = coefficient de frottement entre les pneus et la chaussée [tableau 4.4]

1.3.3.3 Distance de dégagement des passages à niveau

Le projet RTD 10 définit la distance de dégagement d'un passage à niveau comme étant la zone non sécuritaire qu'un véhicule doit franchir pour traverser complètement un passage à niveau. La longueur minimale de cette zone est définie par la distance comprise entre une ligne située 5 mètres avant le premier rail et une ligne située 2,4 mètres après le dernier rail. Cette distance est déterminée comme suit :

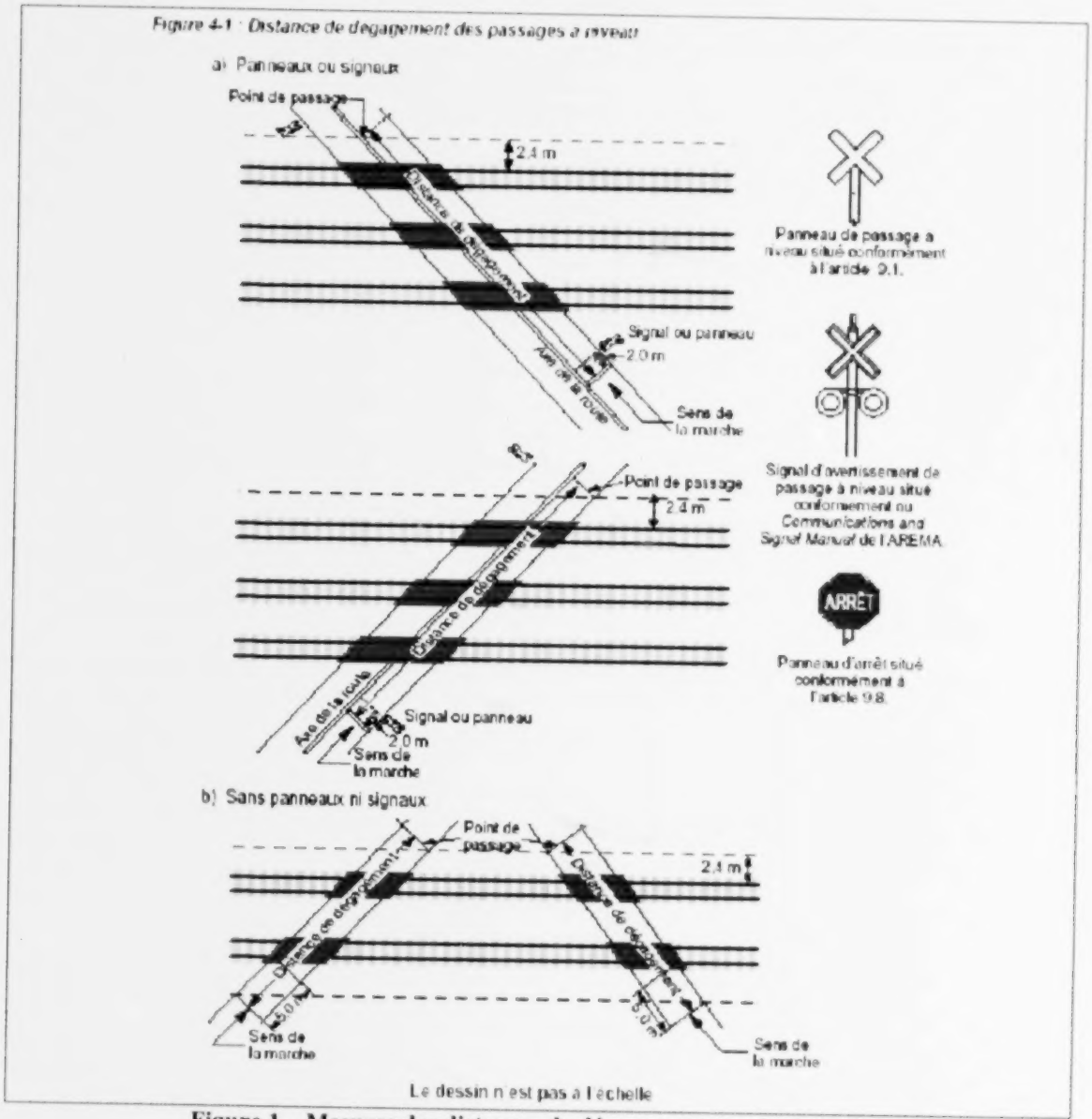


Figure 1 – Mesures des distances de dégagement (projet RTD 10)

Un véhicule type doit donc franchir la somme de cette distance et de la longueur du véhicule pour traverser complètement et sécuritairement le passage à niveau.

1.3.3.4 Temps de passage du véhicule type à partir de l'arrêt

Le projet RTD 10 définit ensuite le temps de passage du véhicule type comme étant le temps que ce véhicule prendra pour franchir, à partir de l'arrêt, la distance de dégagement du passage à niveau. Pour être sécuritaire, ce temps de passage doit inclure le temps de perception et de réaction du conducteur.

Le projet RTD 10 ne donne pas de méthode précise pour déterminer ce temps de passage, mais présente les courbes d'accélération suivantes à titre indicatif :

Figure 4-2 : Courbes d'accélération hypothétiques - véhicules types
(Normes canadiennes de conception géométrique)

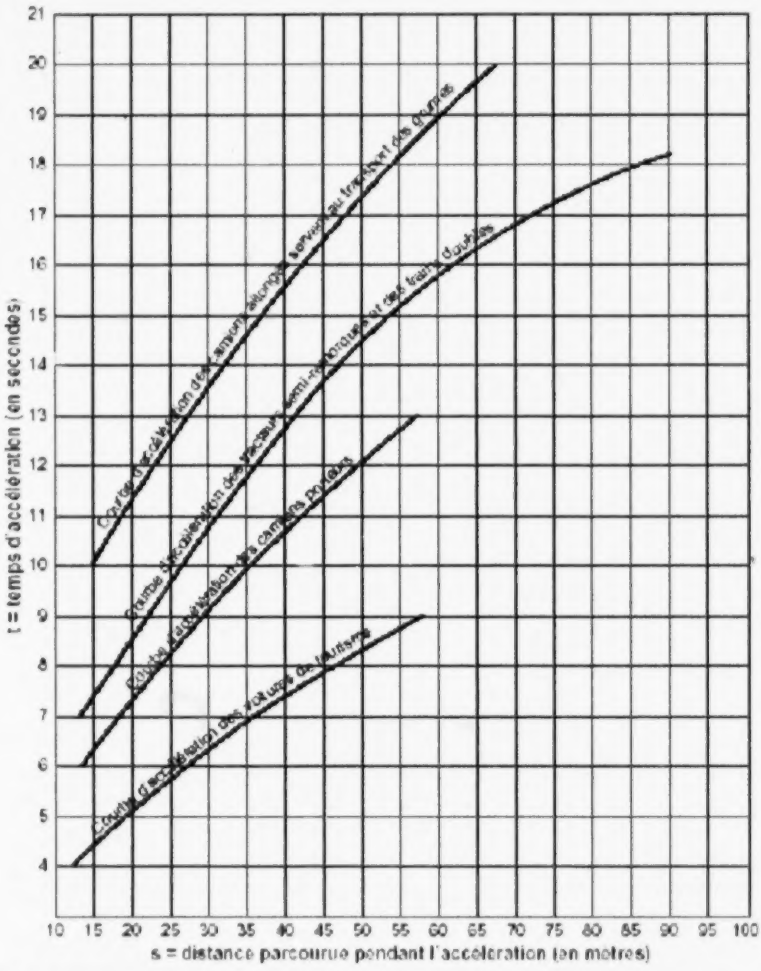


Figure 2 – Courbes d'accélération des véhicules types (projet RTD 10)

On mentionne que ces courbes ne sont présentées qu'à titre indicatif, car elles ont été obtenues dans des conditions idéales qui ne reflètent pas la réalité. Toutefois, aucune méthode n'est proposée pour

déterminer l'accélération des véhicules types dans des conditions réelles. Il faut noter que ces courbes sont tirées du «*Guide canadien de conception géométrique des routes*», mais ne reflètent pas les différentes classes des véhicules définies au tableau 8.

Le projet RTD 10 mentionne aussi certains facteurs qui devraient être pris en compte dans le calcul de ces temps de passage. En effet, les facteurs suivants peuvent influencer, et ralentir, l'accélération des véhicules :

- l'état du revêtement de la route;
- l'état de la surface de croisement;
- une voie ferrée en dévers;
- un carrefour de l'autre côté du passage à niveau où les véhicules doivent s'arrêter, ce qui retarde l'accélération sur le passage à niveau;
- des restrictions à la manœuvre du véhicule, comme les changements de vitesse nécessaires pour négocier un passage à niveau;
- le placement non standard des marques de ligne d'arrêt sur la chaussée.

Un autre facteur qui influence le temps de passage est la déclivité de la route. Le projet RTD 10 propose la méthode suivante pour tenir compte de la déclivité dans le calcul du temps de passage :

Tableau 12 – Rapport entre le temps d'accélération et la déclivité (projet RTD 10)

Tableau 4-6 : Rapport entre le temps d'accélération et la déclivité

Véhicule type	**Déclivité de la route, en %**				
	-4	-2	0	+2	+4
Voiture de tourisme	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3
Camion porteur et autobus	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3
Tracteur semi-remorque	0,8	0,9	1,0	1,2	1,7

Détermination du temps de passage du véhicule type

Le temps de passage T_d du véhicule type s'exprime de la façon suivante :

$$T_d = J + T$$

où J = délai de perception et de réaction de 2 secondes de la part du conducteur pour regarder des deux côtés, embrayer au besoin et se préparer à démarrer

T = temps que met le véhicule type pour franchir complètement la distance de dégagement

On peut obtenir T en mesurant directement le temps requis par un véhicule type donné pour franchir la distance de dégagement du passage à niveau, soit au passage à niveau même, soit à un autre endroit équivalent.

De même, on peut calculer T à l'aide de l'équation suivante :

$$T = t + G + K$$

Où les valeurs de t, G et K peuvent être raisonnablement estimées par une personne qualifiée :

où t = temps que met le véhicule type pour accélérer sur la distance s de la figure 4-2

G = accroissement ou réduction en t causée par l'incidence de la déclivité de la route

K = temps additionnel requis pour l'accélération du véhicule type à travers la distance de dégagement à cause des particularités du passage à niveau.

Bien qu'il n'en soit pas fait mention, le tableau 12 est tiré du «*Guide canadien de conception géométrique des routes*» (Table 2.3.3.2 du TAC). Toutefois, la formule utilisée ici pour tenir compte de la déclivité n'est pas claire puisque la valeur G du tableau 12 (4-6) est additionnée au temps de passage sur le plat,

alors que dans le «*Guide canadien de conception géométrique des routes*», on mentionne clairement que ce facteur est un facteur multiplicatif du temps de passage sur le plat (p. 2.3.3.6 du TAC). Cette façon de traiter la déclivité est dans ce dernier cas beaucoup plus logique, car la différence de temps entre le temps de passage sur le plat et en pente dépend nécessairement de la longueur de la distance à parcourir et ne peut donc pas être une valeur constante.

Comme aucune méthode concrète n'est proposée pour déterminer le temps de passage réel, une méthode en ce sens devra être ultérieurement développée.

1.3.3.5 Emplacement des passages à niveau, surface de croisement et géométrie de la route

Dans le projet RTD 10, ces sections sont distinctes mais nous les avons regroupées ici, puisqu'elles définissent certains facteurs qui peuvent influencer les temps de passages.

Tout d'abord, la distance minimale entre une intersection routière et un passage à niveau est fixée à 30 mètres. Cette distance est déterminée tel que décrit à la figure 3. On observe que cette distance de 30 mètres n'est pas souvent respectée sur les passages à niveau existants. Il est toutefois possible que la synchronisation adéquate des feux de circulation à l'intersection avec le système d'avertissement du passage à niveau puisse éventuellement permettre d'utiliser une distance sécuritaire de moins de 30 mètres.

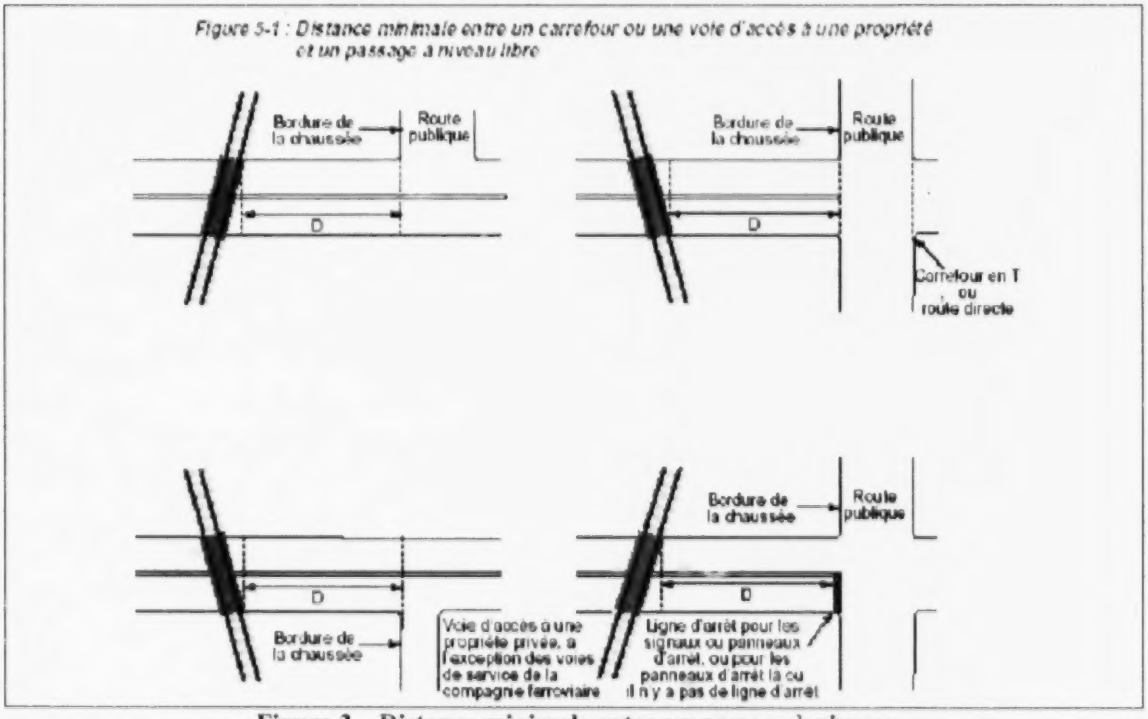


Figure 3 – Distance minimale entre un passage à niveau et une intersection routière (projet RTD 10)

Une autre norme, dont tous les aspects ne seront pas décrits ici, définit les caractéristiques de la surface de passage. Les éléments influençant le plus le temps de passage seraient la largeur des ornières ainsi que la

différence de hauteur entre la surface de la route et la surface des voies. Le projet RTD 10 définit les pires surfaces par la largeur maximale de l'ornière et la différence d'élévation :

- la largeur d'ornière maximale peut être d'au moins 2,5 pouces (63,5 mm) et d'au plus 4,75 pouces (120,6 mm);
- l'élévation des rails peut avoir jusqu'à 1 pouce (25,4 mm) de plus ou de moins que celle de la surface de croisement.

Les valeurs maximales de ces normes seront utilisées lors de la détermination des pires temps de passage des véhicules types.

Par ailleurs, l'une des normes qui a probablement le plus d'influence sur les temps de passage est celle qui définit les limites géométriques de la route. En ce sens, tous les aspects de cette norme semblent importants. Ce sont (réf. : projet RTD 10) :

7.1 a) L'alignement horizontal et l'alignement vertical de l'approche routière et de la route avec le passage à niveau doivent être lisses et continus dans les limites de la distance de visibilité d'arrêt.

b) L'alignement horizontal de la route avec les voies ferrées doit être en ligne droite depuis le rail extérieur sur une distance égale à la longueur du véhicule type.

c) c) Le profil et l'élévation de la surface de croisement du passage à niveau doivent correspondre au profil et à l'élévation de la route d'approche et permettre la vitesse maximale admissible sur la route, conformément aux *Normes canadiennes de conception géométrique*.

7.2 Sous réserve des conditions énoncées à l'article 7.1 et à l'exception d'un passage à niveau d'une voie ferrée en dévers tel que prévu à l'article 7.4, la déclivité maximale des routes aux passages à niveau ne doit pas dépasser les rapports suivants :

a) 1:50 (2 p. cent) dans un rayon de 8 m du rail le plus proche et 1:20 (5 p. cent) sur les 10 m suivants, aux passages à niveau libres pour véhicules;

b) 1:50 (2 p. cent) dans un rayon de 8 m du rail le plus proche et 1:10 (10 p. cent) sur les 10 m suivants à tout autre passage à niveau pour véhicules;

c) 1:50 (2 p. cent) dans un rayon de 5 m du rail le plus proche à tout passage à niveau réservé aux piétons et aux cyclistes;

d) 1:100 (1 p. cent) dans les 5 m du rail le plus proche aux passages à niveau spécifiquement identifiés comme étant empruntés par des personnes utilisant un appareil fonctionnel.

7.3 Les routes comportant un passage à niveau construit avant le (date d'entrée en vigueur) doivent être conformes aux exigences suivantes :

a) dans le cas des passages à niveau publics pour véhicules, la pente ascendante ou descendante de la route ne doit pas dépasser un rapport entre la verticale et l'horizontale de 1:20 (5 p. cent), à moins que l'Office national des transports ne l'ait autorisée avant le 1er janvier 1989 en vertu de la *Loi sur les chemins de fer* ou que le ministre des Transports ne l'ait autorisée après cette date en vertu de la *Loi sur la sécurité ferroviaire*.

b) dans le cas des autres passages à niveau, la pente ascendante ou descendante de la route doit être sans danger pour les usagers du passage à niveau.

7.4 Aux passages à niveau pour véhicules où la voie ferrée est en dévers, la différence entre la déclivité de la surface de croisement de ces passages et celle de la route adjacente ne doit pas dépasser les limites précisées dans les *Normes canadiennes de conception géométrique*.

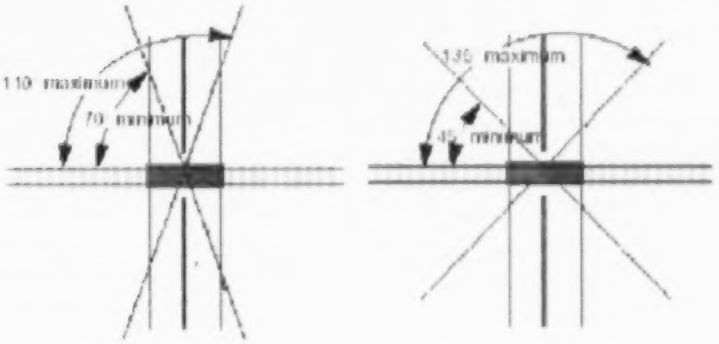
7.5 La largeur des voies de circulation et des accotements dans la surface de croisement des passages à niveau doit être au moins celle des approches routières.

7.6 Les passages à niveau où la vitesse maximale admissible sur le chemin de fer dépasse 15 mi/h doivent être construits comme le précise la figure 7-1, de façon que l'angle entre la route et la voie ferrée :

a) soit d'au moins 70° et d'au plus 110° aux passages à niveau sans système d'avertissement;

b) soit d'au moins 45° et d'au plus 135° aux passages à niveau avec système d'avertissement.

Figure 7-1 : Angle d'intersection maximal des passages à niveau



a) Passage à niveau sans système d'avertissement

b) Passage à niveau avec système d'avertissement

Le dessin n'est pas à l'échelle

7.7 La surface des approches routières et de la partie de la route qui forme le passage à niveau doit être maintenue en bon état de façon à permettre aux véhicules de circuler à la vitesse maximale admissible sur la route, y compris le déneigement, le déglaçement ou l'épandage d'abrasif, de façon à permettre aux véhicules :

a) de s'arrêter sans danger sur la distance de visibilité d'arrêt de sécurité;

b) de démarrer à partir de la position arrêtée et de franchir les voies ferrées sans danger.

Les caractéristiques géométriques de la route et du passage à niveau à concevoir ou à inspecter, dans les limites de ces normes, devraient être utilisées pour déterminer le temps de passage du véhicule type à ce passage à niveau.

1.3.3.6 Lignes de visibilité

Le projet RTD 10 définit les lignes de visibilité comme étant les distances sur lesquelles la vue doit être dégagée pour pouvoir observer l'arrivée d'un train. Aux passages à niveau passifs, il est clair que le dégagement de ces lignes de visibilité est nécessaire, mais aux passages à niveau avec système d'avertissement on suggère quand même de respecter ces lignes de visibilité. On distingue trois lignes de visibilité différentes :

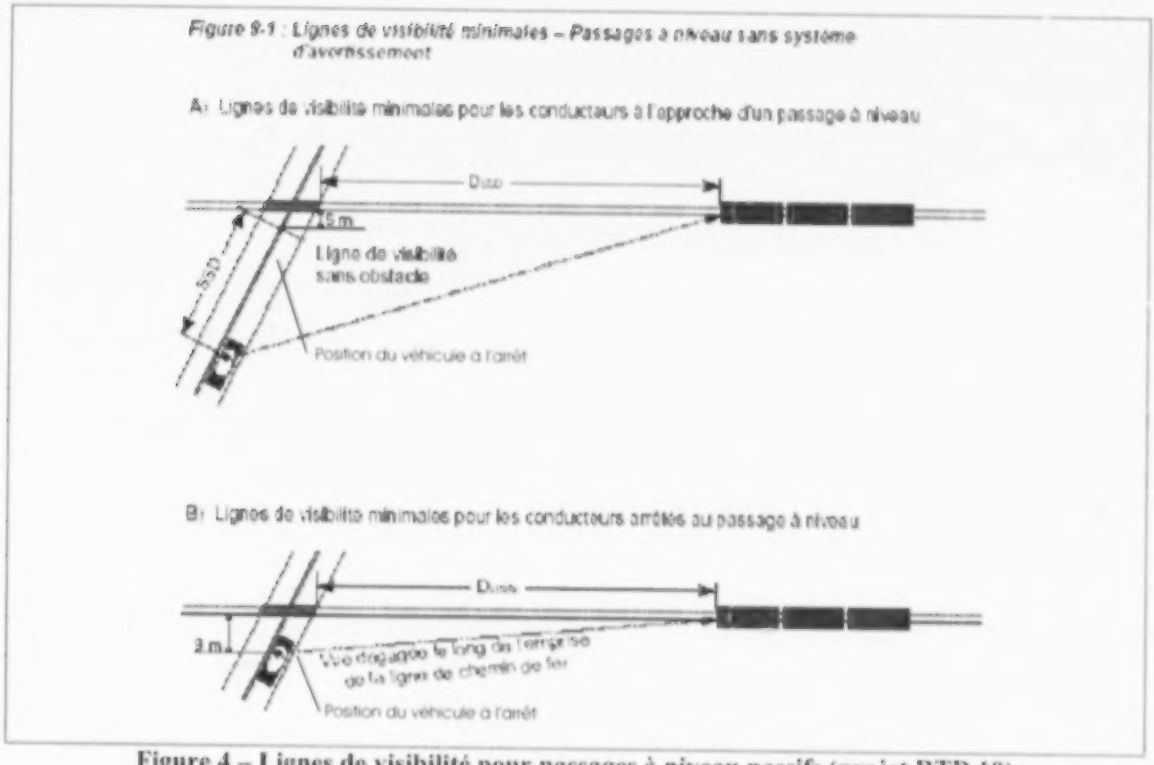


Figure 4 – Lignes de visibilité pour passages à niveau passifs (projet RTD 10)

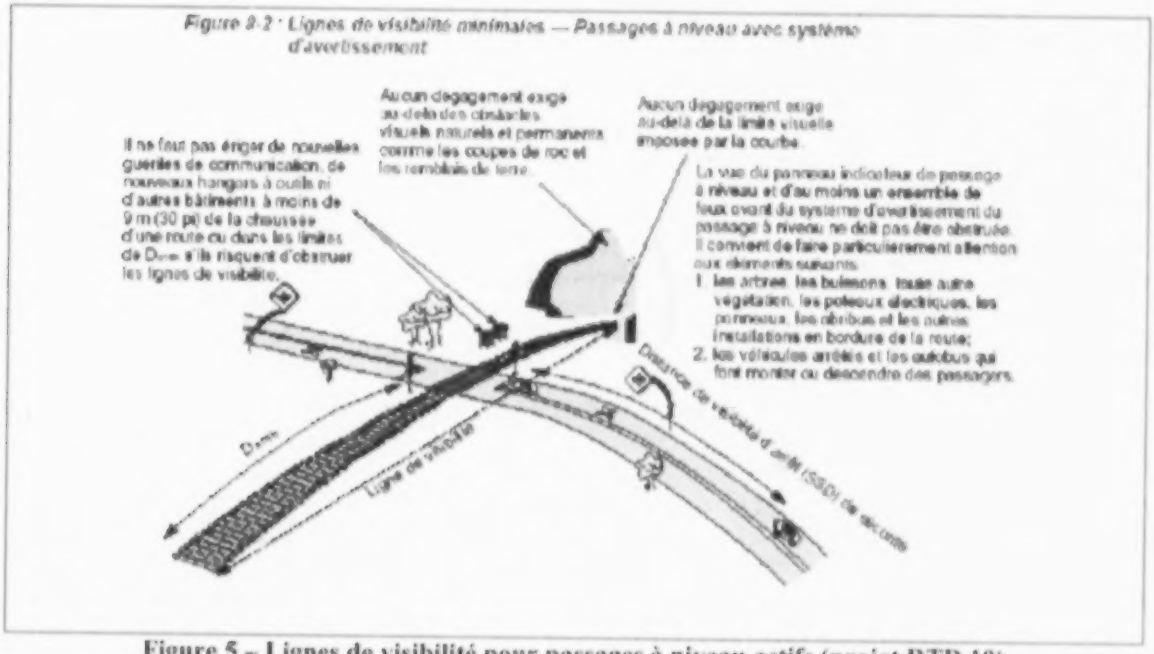


Figure 5 – Lignes de visibilité pour passages à niveau actifs (projet RTD 10)

Les deux premières lignes de visibilité sont calculées de manière à former un triangle de visibilité qui doit être dégagé en tout temps :

a) SSD (de l'anglais *Stopping Sight Distance*) est la distance de visibilité d'arrêt et elle est calculée conformément à l'article 4.4. Il s'agit de la distance minimale, à partir de la position d'arrêt devant le passage à niveau, à l'intérieur de laquelle le conducteur d'un véhicule qui s'approche du passage à niveau peut voir, sans obstruction :

(i) un panneau indicateur de passage à niveau;

(ii) un panneau d'arrêt obligatoire;

(iii) un signal d'avertissement de passage à niveau;

(iv) un train occupant le passage à niveau.

b) D_{TSS} est égal à la distance minimale, le long de la voie ferrée, à laquelle un conducteur doit voir venir un train à partir de la distance de visibilité d'arrêt, à moins que le passage à niveau ne soit équipé d'un panneau d'arrêt ou d'un système d'avertissement.

D_{TSS} est égal à la plus grande des deux distances suivantes, soit la distance qu'un train se déplaçant à la vitesse maximale admissible sur le chemin de fer franchira en 10 secondes, et celle qu'il franchira pendant le temps requis pour que le véhicule type se déplaçant à sa vitesse maximale admissible dépasse complètement le point de dégagement de l'autre côté du passage à niveau, à partir de la distance de visibilité d'arrêt.

$$D_{TSS} = 1.47V_T \times T_{TSS}$$

où,

V_T = vitesse maximale admissible sur la ligne de chemin de fer en mi/h, et

T_{TSS} = la plus élevée des deux valeurs suivantes, soit [(SSD + cd + L)/(0,28V_T)] et 10 secondes

ou,

V = vitesse maximale admissible sur la route en km/h
cd = distance de dégagement du passage à niveau
L = longueur du véhicule type

D_{TSS} peut être obtenu directement du tableau 8-1 au moyen de T_{TSS}.

c) D_{DPPN} est égal à la distance, le long de la voie à partir du passage à niveau, qu'un train roulant à la vitesse maximale admissible sur le chemin de fer parcourra pendant le temps de passage du véhicule type du passage à niveau, calculé conformément à l'article 4.7, ou le temps de passage des piétons, des cyclistes et des personnes utilisant un appareil fonctionnel, calculé conformément à l'article 4.8.

D_{DPPN} peut être calculé au moyen de la formule suivante :

$$D_{DPPN} = 1,47V \times T_d \text{ (en pieds)}$$

où,

V = vitesse maximale admissible sur la ligne de chemin de fer (en mi/h)
T_d = temps de passage calculé conformément aux articles 4.7 et 4.8

D_{DPPN} peut être obtenu directement du tableau 8-1 au moyen de T_d.

Le tableau 13 présente les valeurs prescrites de ces lignes de visibilité le long des voies ferrées.

La méthode de calcul général des lignes de visibilité semble adéquate, mais il y a tout de même certaines inconsistances et contradictions dans ces calculs. Tout d'abord, l'utilisation mixte du système international et du système impérial peut porter à confusion. De plus, les unités utilisées pour certaines variables ne sont pas mentionnées. Il serait donc préférable de choisir l'un des deux systèmes de mesure ou, encore mieux, d'identifier tous les paramètres. Par ailleurs, comme nous l'avons déjà souligné plus haut, la méthode utilisée pour calculer la SSD utilise des valeurs qui ne sont pas réalistes, parce que datant de trop longtemps.

D'autre part, dans le calcul de D_{SSD}, il faut d'abord calculer T_{SSD} et utiliser 10 secondes, si la valeur calculée est inférieure à 10 secondes. Une évaluation préliminaire indique que ce temps minimum de

10 secondes semble toutefois trop faible et que de toute façon le calcul de T_{SSD} est faussé par l'utilisation du paramètre SSD dont la valeur n'est pas réaliste.

Tableau 13 – Lignes de visibilité le long des voies ferrées (projet RTD 10)

Tableau 9-1 : Lignes de visibilité prescrites le long de la voie ferrée (D_{SSD} et $D_{arrêt}$)
D'après les figures 8-1 et 8-2

Vitesse maximale admissible sur le chemin de fer (V_T)	Lignes de visibilité prescrites le long des voies ferrées (D_{SSD} et $D_{arrêt}$) Temps de passage : T_d et T_p (en secondes) minimum											Au-dessus de 20 secondes, pour chaque seconde additionnelle ajouter
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Mi/h	Mètres											
ARRÊTÉ	30	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o
1-10	45	50	55	60	65	70	71,52	75,99	80,46	85	90	+5
11-20	90	100	110	120	125	135	145	155	165	170	180	+10
21-30	135	150	165	175	190	205	215	230	245	255	270	+15
31-40	180	200	220	235	250	270	285	305	325	340	360	+20
41-50	225	250	270	290	315	335	360	380	405	425	450	+25
51-60	270	300	325	350	380	405	430	460	485	510	540	+30
61-70	315	350	380	415	445	470	505	535	565	595	630	+35
71-80	360	395	435	465	505	540	580	610	650	680	720	+40
81-90	405	445	490	535	570	605	650	685	730	765	810	+45
91-100	450	500	540	580	630	670	715	760	805	850	895	+50

Remarque : Avant d'utiliser le tableau 8-1, il faut d'abord calculer le temps requis pour franchir le passage à niveau (temps de passage) conformément à la présente section et déterminer la vitesse maximale admissible sur le chemin de fer. Choisir ensuite la ligne horizontale du tableau qui correspond à la vitesse maximale admissible sur le chemin de fer et choisir dans la colonne appropriée, sous le temps de passage pertinent, la distance de visibilité prescrite le long de la voie ferrée.

De plus, comme la conception des lignes de visibilité est basée sur la vitesse maximale du train, il semble illogique de considérer, comme à la première ligne du tableau 13 (8.1), un train arrêté!

En dernier lieu, pour calculer la $D_{arrêt}$, il faut connaître le temps de passage du véhicule type et la méthode réfère à ce calcul. Toutefois, tel que mentionné précédemment, aucune méthode concrète n'est proposée pour l'évaluation du temps de passage réel.

1.3.3.7 Délai d'avertissement

La détermination du délai d'avertissement ne se trouve pas dans les normes de conception, mais dans une autre section du projet RTD 10, ce qui paraît anormal. Ce délai est définit comme étant le temps entre le moment de déclenchement des systèmes d'avertissement (cloches et feux clignotants) et l'arrivée du train. Comme la détermination de ces temps se base sur les mêmes calculs que ceux des lignes de visibilité, les mêmes remarques que pour les lignes de visibilité sont applicables. Selon le projet RTD 10, la détermination de ce délai doit se faire de la manière suivante :

Temps d'annonce d'approche de conception

20.1 Le temps d'annonce d'approche de conception de chaque approche d'un systèmes d'avertissement de passage à niveau doit être calculé en fonction de la vitesse maximale admissible sur le chemin de fer à l'approche du passage à niveau. Le temps d'annonce d'approche de conception doit être la plus élevée de l'une ou l'autre des valeurs suivantes :

a) 20 secondes. Si la distance de dégagement du passage à niveau (figure 4-1) est supérieure à 35 pi (10,67 m), ajouter aux 20 secondes une seconde pour chaque 10 pi (3,05 m) supplémentaire ou fraction de 10 pi;

b) le temps de passage du véhicule type du passage à niveau (paragraphe 4.7);

b.1) le temps de passage des piétons, des cyclistes et des personnes utilisant un appareil fonctionnel (paragraphe 4.9);

c) le temps de délai que met la lisse de la barrière pour se mettre en mouvement et descendre en position, plus 5 secondes;

d) le délai d'avertissement minimum requis pour que le circuit de commande du système d'avertissement déclenche en priorité les feux de circulation;

e) le délai d'avertissement programmable minimum du dispositif d'annonce à temps régularisé; ou

f) le temps que met le véhicule type roulant à la vitesse maximale admissible de la route pour parcourir la distance de visibilité d'arrêt (voir l'article 4.4) et franchir complètement la distance de dégagement.

20.2 La durée de fonctionnement des feux clignotants avant qu'un train roulant à la vitesse maximale admissible sur le chemin de fer ne s'engage sur le passage à niveau doit être égale au temps d'annonce d'approche de conception plus un temps de réaction du matériel supplémentaire de 2 secondes, ou le temps de réaction prévu par le fabricant.

T_D et T_{SSD} correspondent ici respectivement aux temps déterminés en b) et f). Le minimum de 20 secondes présenté en a) semble sécuritaire, mais ceci devrait être déterminé lors d'essais ultérieurs.

1.3.4 Réglementations provinciales concernant les arrêts obligatoires et l'interdiction de changer de vitesse aux passages à niveau

Diverses dispositions des codes de la route des diverses provinces obligent certains véhicules (principalement des véhicules lourds) à s'arrêter à l'approche d'un passage à niveau ou encore à les traverser sans changer de rapport de transmission. La législation varie considérablement d'une province canadienne à l'autre. Ces règles ont un impact très important sur les temps de passage des véhicules pour lesquels elles s'appliquent, et il est important qu'elles soient bien connues pour que les temps de passages des véhicules soient calculés correctement. Les articles complets de ces lois provinciales sont présentés à l'annexe C du présent rapport. Voici toutefois un résumé soulignant certains points importants :

Colombie-Britannique

- Les véhicules suivants doivent s'arrêter à tous les passages à niveau passifs :
  - autobus transportant des passagers à but lucratif;
  - autobus scolaires;
  - véhicules transportant des substances explosives;
  - véhicules transportant des substances poisons;
  - véhicules transportant des substances inflammables;
  - véhicules utilisés (vides ou pleins) pour transporter des liquides ou des gaz inflammables.

- Tous les véhicules s'étant préalablement arrêtés à quelque passage à niveau que ce soit (véhicules mentionnés précédemment, tout véhicule arrêté à un arrêt obligatoire, tout véhicule arrêté à un dispositif d'avertissement) ne peuvent changer de vitesse lors de la traversée des voies de chemin de fer.

Alberta

- Les véhicules suivants doivent s'arrêter à tous les passages à niveau passifs :
  - autobus scolaires;
  - véhicules transportant des substances explosives;
  - véhicules transportant des substances inflammables;
  - véhicules utilisés (vide ou plein) pour transporter des liquides ou des gaz inflammables.

- Tous les véhicules s'étant préalablement arrêtés à quelque passage à niveau que ce soit (véhicules mentionnés précédemment, tout véhicule arrêté à un arrêt obligatoire, tout véhicule arrêté à un dispositif d'avertissement) ne peuvent changer de vitesse lors de la traversée des voies de chemin de fer.

Saskatchewan

- Les véhicules suivants doivent s'arrêter à tous les passages à niveau passifs :
  - autobus scolaires;
  - véhicules nécessitant d'être placardés selon le *Dangerous Goods Transportation Act* : c'est-à-dire n'importe quel véhicule transportant des marchandises dangereuses.

- Seuls les autobus scolaires ayant des boîtes de vitesses manuelles doivent traverser en première vitesse le passage à niveau.

Manitoba

- Les véhicules suivants doivent s'arrêter à tous les passages à niveau passifs :
  - autobus transportant des passagers à but lucratif;
  - autobus scolaires;
  - véhicules utilisés (vides ou pleins) pour transporter des liquides ou des gaz inflammables.

- Les véhicules mentionnés ci-haut ne peuvent changer de vitesse lorsqu'ils traversent les voies d'un passage à niveau passif.

Ontario

- Les véhicules suivants doivent s'arrêter à tous les passages à niveau passifs :
  - véhicules de transport en commun;
  - autobus scolaires transportant des enfants.

- Les véhicules mentionnés ci-haut ne peuvent changer de vitesse lorsqu'ils traversent les voies d'un passage à niveau passif.

Nouvelle-Écosse

Il n'y a aucune réglementation obligeant l'arrêt ou interdisant le changement de vitesse aux passages à niveau dans cette province.

Île du Prince-Édouard

Il n'y a plus de chemin de fer dans cette province.

Québec

- Les véhicules suivants doivent s'arrêter à tous les passages à niveau (actifs et passifs) * :
  - autobus;
  - minibus;
  - véhicule transportant des marchandises dangereuses dans des quantités nécessitant l'application de plaques d'indication de danger suivant le règlement sur le transport de marchandises dangereuses.

  * Présentement, le Code de la sécurité routière indique que tous les véhicules lourds doivent s'arrêter à tous les passages à niveau, mais le projet de loi 58 (9 décembre 1999) abolit cette obligation (seul ce qui est écrit ci-haut reste en vigueur.) Toutefois, ce projet de loi n'a pas encore été adopté officiellement.

- Aucune réglementation n'interdit le changement de vitesse aux passages à niveau au Québec.

Nouveau-Brunswick

- Les véhicules suivants doivent s'arrêter à tous les passages à niveau (actifs et passifs) :
  - véhicules transportant des passagers à but lucratif;
  - tous types d'autobus;
  - véhicules transportant des substances explosives;
  - véhicule transportant des liquides inflammables.

- Les véhicules mentionnés ci-haut ne peuvent changer de vitesse lorsqu'ils traversent les voies d'un passage à niveau.

Terre-Neuve et Labrador

- Les véhicules suivants doivent s'arrêter à tous les passages à niveau (actifs et passifs) :
  - véhicules transportant des passagers à but lucratif;
  - autobus scolaires;
  - véhicules transportant des substances explosives;
  - véhicule transportant des liquides inflammables.

- Les véhicules mentionnés ci-haut ne peuvent changer de vitesse lorsqu'ils traversent les voies d'un passage à niveau.

Territoire du Yukon

Ce territoire a, en théorie, les mêmes règlements d'arrêt obligatoire et d'interdiction de changer de vitesse aux passages à niveau que ceux de l'Alberta mais, en pratique, ces règles ne sont pas appliquées. Cela est dû au très petit nombre de trains passant dans ce Territoire et du fait même qu'il est maintenant obligatoire qu'un signaleur soit installé à tous les passages à niveau lors du passage d'un train. Aucun accident ne s'est produit à un passage à niveau dans ce Territoire dans les dernières années.

Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut

Ces deux territoires ayant été récemment divisés, ils possèdent les mêmes règlements :

- seuls les autobus scolaires ont l'obligation de s'arrêter devant tous les passages à niveau de ces territoires.

Les autobus scolaires ne peuvent changer de vitesse aux passages à niveau.

1.4 Études sur l'accélération et le freinage des véhicules lourds

Dans le passé, plusieurs études ont été réalisées pour déterminer les performances en accélération et en freinage des véhicules lourds. Les résultats de certaines de ces études sont présentés ici en relation avec le projet RTD 10.

1.4.1 Accélération

Pour le calcul des lignes de visibilité le long des voies, le projet RTD 10 propose l'utilisation des courbes d'accélération produites pour quatre véhicules types, mais n'explique malheureusement pas clairement comment les utiliser. Toutefois, ce projet propose d'utiliser une longueur minimale de ligne de visibilité le long des voies ferrées qui est basée sur un temps de passage de 10 secondes aux passages à niveau passifs et un délai minimal d'avertissement de 20 secondes aux passages à niveau actifs. Beaucoup d'études ont déterminé que ces temps de passages minimaux étaient insuffisants dans nombre de cas, les résultats de celles-ci sont présentés ici.

L'une des principales études réalisées dans ce sens a été réalisée par Kenneth Kendall et Lise Morrissette en 1995. Cette étude avait directement pour objectif de déterminer si la règle du 10 secondes minimal de temps de passage aux passages à niveau passifs permettait à un véhicule lourd de traverser un passage à niveau en toute sécurité. Cette étude a été réalisée à une pesée en Ontario où les véhicules d'essais étaient choisis au hasard. En tout, 215 véhicules lourds de divers types ont été sélectionnés dont 4 camions porteurs, 163 tracteurs semi-remorques et 47 trains routiers dont la majorité étaient remplis à pleine capacité. Les essais ont été réalisés pour déterminer les temps de passage de ces véhicules sur des longueurs équivalentes à des passages à niveau à une, deux, trois et quatre voies. Pour chaque véhicule, trois types d'essais ont été réalisés : un essai en accélération maximale en utilisant tous les rapports de transmission, un essai en utilisant tous les rapports de transmission possible jusqu'à l'équivalent du premier rail ainsi qu'un essai selon les politiques de la compagnie de transport. Les résultats de cette étude sont présentés au tableau 14.

Les résultats sont regroupés et aucune distinction n'a été faite entre les divers types d'essais. Néanmoins, Kendall et Morrissette ont comparé le temps de passage des divers véhicules et leur poids pour chaque distance (1, 2, 3 et 4 voies). La figure 6 illustre cette comparaison pour l'ensemble des véhicules pour un passage à niveau à une voie. Outre la tendance générale qui montre une augmentation générale du temps de passage avec le poids, il est difficile de cerner une relation claire de ce graphique. Au terme de cette étude, Kendall et Morrissette ont tiré les conclusions suivantes :

- Un véhicule lourd de n'importe quel type chargé à pleine capacité ne peut traverser un passage à niveau à quatre voies en toute sécurité durant les 10 secondes de ligne de visibilité minimales prescrites par la réglementation.
- Un tracteur semi-remorque vide ne peut traverser un passage à niveau à quatre voies en toute sécurité durant les 10 secondes de ligne de visibilité minimales prescrites.

- Un tracteur semi-remorque chargé à pleine capacité ne peut traverser un passage à niveau à une voie en toute sécurité durant les 10 secondes de ligne de visibilité minimales prescrites.
- Un train routier vide ne peut traverser un passage à niveau à une voie en toute sécurité durant les 10 secondes de ligne de visibilité minimales prescrites.
- Un train routier chargé à pleine capacité ne peut traverser un passage à niveau à une voie en toute sécurité durant les 10 secondes de ligne de visibilité minimales prescrites.
- Un véhicule de transport ne peut traverser un passage à niveau à une voie en toute sécurité durant les 10 secondes de ligne de visibilité minimales prescrites.

Tableau 14 – Résultats de l'étude de Kendall & Morrissette, 1995

	STRAIGHT	T-TRAILER	T-TRAIN	ALL
RAW DATA				
Total Vehicles	4	163	47	215
Full Vehicles	3	159	40	203
Empty Vehicles	1	4	7	12
1 – Track Slow	7.0	29.97	26.74	29.97
1 – Track Fast	4.49	6.00	606	4.49
2 – Track Slow	8.17	36.06	29.27	36.06
2 – Track Fast	5.79	6.78	6.92	5.79
3 – Track Slow	9.37	40.36	33.42	40.36
3 – Track Fast	6.59	7.47	7.55	6.59
4 – Track Slow	11.05	44.80	37.91	44.80
4 – Track Fast	7.18	7.82	8.18	7.18
Lightest (KG)	6410	11390	20250	6410
Heaviest (KG)	14120	62520	63500	63500
Longest (M)	9.40	22.84	24.80	24.80
Shortest (M)	8.00	11.40	18.74	8.00
MEDIAN				
Weight (KG)	9285	44820	57830	46540
Length (M)	9.48	19.23	22.40	19.72
1 – Track Time	6.08	11.74	13.35	11.80
2 – Track Time	7.35	13.06	14.24	13.12
3 – Track Time	8.60	13.99	15.51	14.23
4 – Track Time	9.61	14.88	16.45	15.33
AVERAGE				
Weight (KG)	9775	41704	51385	43271
Length (M)	9.19	19.04	22.56	19.54
1 – Track Time	5.92	12.40	14.40	12.73
2 – Track Time	7.17	13.74	15.75	14.07
3 – Track Time	8.29	14.92	16.94	15.25
4 – Track Time	9.36	15.89	18.01	16.24

Basé sur ces conclusions, Kendall et Morrissette ont déterminé qu'il ne serait pas sécuritaire d'utiliser des lignes de visibilité basées sur un temps de passage minimal de 10 secondes et que cette pratique ne ferait qu'exacerber le potentiel de collision entre un train et un véhicule lourd à un passage à niveau.

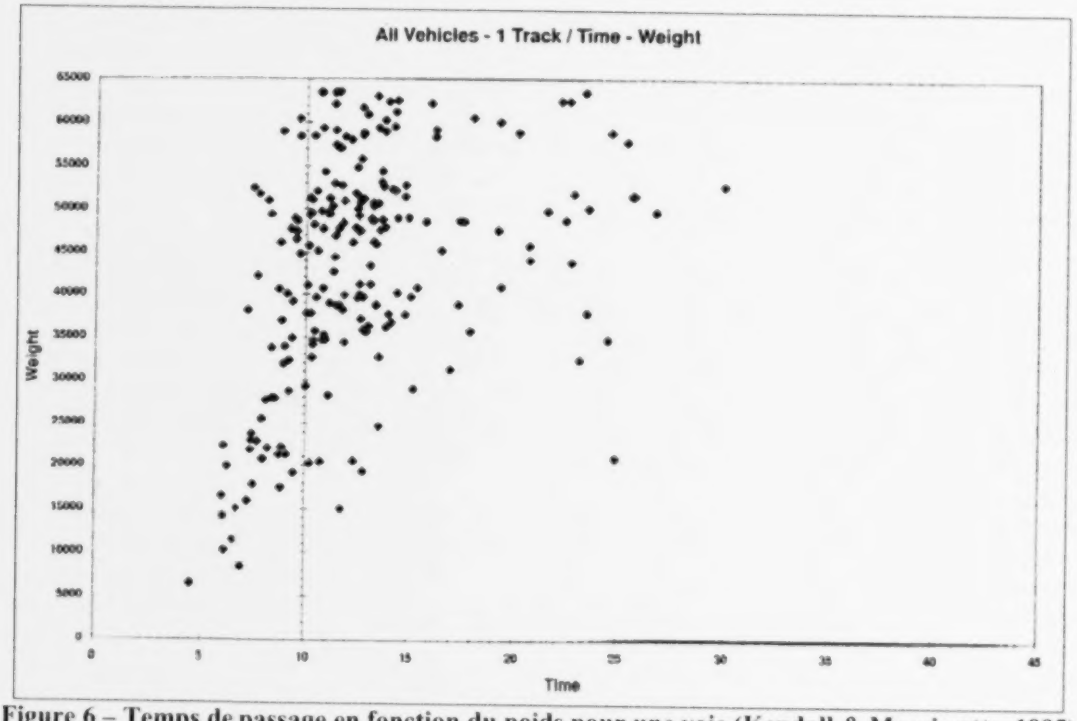


Figure 6 – Temps de passage en fonction du poids pour une voie (Kendall & Morrissette, 1995)

L'étude de Kendall et Morrissette montre bien que les lignes de visibilité basées sur un temps de passage minimal de 10 secondes sont clairement insuffisantes. Toutefois, cette étude ne permet pas de bien caractériser les performances réelles des véhicules lourds. D'une part, elle a été faite dans des conditions idéales : la route est à angle droit avec les voies, le passage à niveau est complètement plat, la surface de passage est unie et est en bon état et le conducteur accélère à la vitesse maximale. D'autre part, les auteurs affirment eux-mêmes qu'ils n'ont pas mis leurs résultats en relation avec plusieurs caractéristiques affectant de façon notable les performances des véhicules lourds.

Les auteurs ont tout d'abord observé que le type de moteur et de transmission ainsi que leurs diverses combinaisons pouvaient grandement affecter la performance de tels véhicules. Ils ont fait l'observation que les moteurs de marque Caterpillar semblaient les moteurs les plus lents (vitesse de rotation) et ceux de marque Cummins les plus rapides. Ils ont aussi remarqué que plus le nombre de rapports de transmission était élevé, plus le nombre de changements de vitesse était grand pour atteindre une vitesse donnée et par conséquent plus le temps d'accélération était long.

D'autre part, ils ont noté que le choix des rapports de transmission affecte les performances d'accélération. Ils ont observé que certains véhicules ont un réducteur de vitesse décalé (*deep reduction gear)* leur permettant de démarrer dans des conditions de fortes charges ou dans de fortes pentes. Lors de leurs essais, l'utilisation de ce rapport a été observée à deux reprises. L'utilisation de ce rapport, couplé à une politique de compagnie de ne pas changer de vitesse ainsi que d'utiliser un régime moteur maximal

de 1 600 tr/m, ont résulté en l'obtention des temps d'accélération les plus lents de tous (66 – 78 p. cent plus lent que la moyenne des véhicules semblables).

Les auteurs ont aussi remarqué que dans certains cas les freins des véhicules frottaient (*dragging brakes*), ce qui pourrait affecter les caractéristiques d'accélération de ces véhicules. Les auteurs ont aussi noté que le nombre d'essieux des véhicules semblait aussi affecter les performances d'accélération.

De plus, plusieurs conducteurs ont remarqué que la qualité de la surface de passage était un élément majeur dans la sélection des rapports de transmission et de la vitesse de passage. Plusieurs conducteurs ont mentionné que la plupart des passages à niveau présentent une surface de passage de mauvaise qualité, ce qui fait en sorte que les conducteurs ont tendance à les traverser à des vitesses substantiellement moindres pour ne pas endommager leur véhicule.

Bien qu'aucun essai n'ait été fait avec des véhicules citernes contenant des liquides de haute densité, les auteurs mentionnent que le transport d'un tel produit dans des citernes conçues pour d'autres types de liquides peut être une sérieuse préoccupation pour les conducteurs. En effet, lorsqu'une citerne est conçue pour un produit de basse densité, le transport dans celle-ci de produits de densité supérieure fait en sorte que celle-ci ne peut être remplie à pleine capacité pour respecter les réglementations de poids. En accélération, le chargement crée alors un effet de vague lors du changement de vitesse qui peut sérieusement affecter les performances d'accélération et de contrôle du véhicule.

Finalement, les auteurs ont aussi fait quelques observations par rapport aux conducteurs. Tout d'abord, ils ont identifié trois types de conducteurs : les propriétaires opérateurs, ceux qui avaient des véhicules loués et ceux travaillant pour une compagnie de transport. Ils ont observé quelques différences de comportement chez ces trois types de conducteurs. Celui qui possédait son propre véhicule avait tendance à ménager la mécanique, ceux qui louaient leur véhicule avaient tendance à accélérer le plus vite et ceux travaillant pour une compagnie de transport suivaient les politiques internes de cette dernière.

En ce qui concerne les politiques de compagnies, certains conducteurs ont indiqué qu'elles affectaient dans certains cas leur sécurité lors de la traversée d'un passage à niveau. En particulier, la politique d'une compagnie requérait l'arrêt complet du véhicule aux passages à niveau passifs, interdisait le changement de vitesse et limitait le régime moteur à 1 600 tr/m. De plus, cette compagnie vérifiait le comportement de ses conducteurs à l'aide d'un enregistreur de bord. Les politiques de cette compagnie ont été jugées dangereuses dans le cas où un train arrive au passage à niveau approximativement en même temps que le véhicule lourd.

Cette dernière étude n'a pas mis en relation le temps d'accélération des véhicules en fonction de leurs caractéristiques opérationnelles. Toutefois, les lois de la physique dynamique permettent de développer l'équation suivante pour décrire précisément l'accélération des véhicules lourds :

$$Accélération = \frac{\left(\frac{C*R}{Rayon}\right) - Fr - Fa - mg*\sin(\alpha)}{Masse_effective}$$

où :

	C :	couple moteur
	R :	rapport de réduction (transmission et différentiel)
	Rayon :	rayon de roulement
	Fr :	force de résistance au roulement
	Fa :	force de résistance aérodynamique
	α :	angle de la pente de la route
	Masse effective :	masse du véhicule corrigée pour l'inertie des éléments rotatifs

À première vue, ce modèle semble simple, mais en fait il s'agit d'une équation différentielle complexe qu'il faut résoudre en pratique avec des méthodes numériques. En effet, dans cette équation, le couple moteur dépend de la vitesse de celui-ci, le rapport de transmission est variable et les forces de résistance au roulement et aérodynamique dépendent de la vitesse du véhicule.

Un modèle simplifié a été développé par Gillespie pour une accélération à faible vitesse et sans changement de vitesse. Ce modèle est décrit par l'équation suivante :

$$Tc = \frac{0{,}682\,(Lhz + Lt)}{Vmg} + 3{,}0$$

où : Tc : temps de passage
Lhz : longueur de la zone de dégagement (pi)
Lt : longueur du véhicule (pi) et
Vmg : vitesse maximale atteinte dans le rapport utilisé, cette vitesse pouvant être déterminée par $V_{mg} = 60/gr$, dans laquelle «gr» est le rapport total de réduction

Dans ce modèle, on peut introduire l'effet des pentes en multipliant Tc par le facteur Fg déterminé par Gillespie, tel que présenté dans le tableau 15.

Tableau 15 – Facteur de pente selon Gillespie (Harwood, 1990)

Pente (%)	3-5	6-10	11-13
Fg	1,26	1,47	1,78

Cette équation donne donc les résultats présentés dans le tableau 16 pour les temps de passage pour différentes longueurs de distance de dégagement pour un véhicule de 19,8 m de long.

Tableau 16 – Résultats de l'équation de Gillespie pour un tracteur semi-remorque de 19,8 m (Harwood, 1990)

Pourcentage de pente	V_{mg} (mi/h)	Longueur de la zone de dégagement (pi)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0-2	8	11,1	11,9	12,8	13,7	14,5	15,4	16,2	17,1	17,9	18,8
3-5	6	13,8	14,9	16,1	17,2	18,3	19,5	20,6	21,8	22,9	24,0
6-10	5	16,0	17,3	18,7	20,0	21,4	22,8	24,1	25,5	26,9	28,2
11-13	4	19,2	20,9	22,6	24,3	26,0	27,7	29,4	31,1	32,8	34,5

Note : 1 mi = 1,61 km
1 ft = 0,305 m

En 1986, Gillespie a lui même fait des essais d'accélération avec 77 tracteurs semi-remorques et les a comparé à son modèle, il a obtenu les résultats suivants :

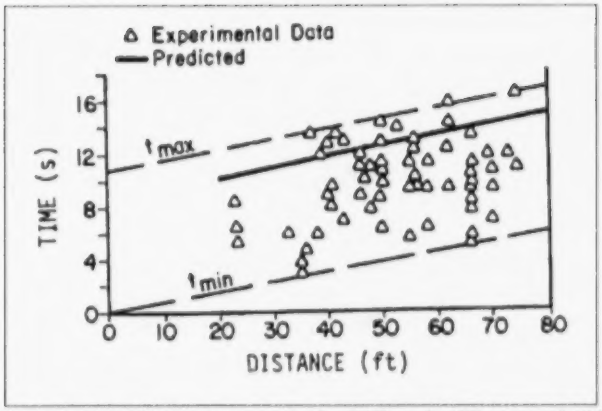


Figure 7 – Résultats des essais de Gillespie (Harwood, 1990)

Ces résultats lui ont permis de dire que son modèle était plutôt conservateur, et il a aussi pu déterminer des équations pour les valeurs maximales et minimales des temps de passage :

$$Tmin = 0{,}075\ (Lhz + Lt)$$

$$Tmax = 10{,}8 + 0{,}075\ (Lhz + Lt)$$

D'autres essais d'accélération ont été réalisés par Hutton en 1970. Ce dernier a évalué les caractéristiques d'accélération de 31 combinaisons de tracteurs semi-remorques dont la majorité étaient des tracteurs de type «*cab over engine*» tirant deux remorques de 8,2 mètres de longueur. La puissance des camions variait entre 228 hp et 375 hp et le poids entre 15 100 kg et 40 900 kg (33 250 lb à 89 900 lb). Il a regroupé ses résultats en fonction du rapport poids/puissance pour 100 lb/hp, 200 lb/hp, 300 lb/hp et 400 lb/hp. La figure 8 présente les courbes d'accélération trouvées expérimentalement pour ces quatre rapports.

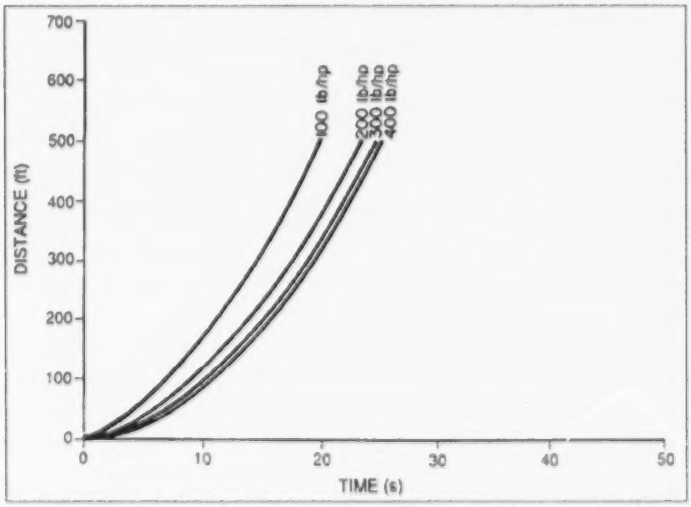


Figure 8 – Résultats des essais de Hutton (Harwood, 1990)

L'auteur a ensuite été en mesure de déterminer les équations analytiques de ces courbes. Ces dernières sont présentées dans le tableau 17.

Tableau 17 – Équation d'accélération de Hutton (Harwood, 1990)

Rapport poids/puissance (lb/hp)	Temps de passage (s)
100	$-6+\sqrt{36+1{,}25 \times \text{Distance parcourue}}$
200	$-3{,}2+\sqrt{10{,}2+1{,}40 \times \text{Distance parcourue}}$
300	$-1{,}9+\sqrt{3{,}8+1{,}40 \times \text{Distance parcourue}}$
400	$-0{,}6+\sqrt{0{,}4+1{,}25 \times \text{Distance parcourue}}$

Ces résultats ont été comparés au modèle de Gillespie, tel que montré à la figure 9.

On observe donc que l'équation de Gillespie est conservatrice et que les courbes de Hutton sont dans les limites déterminées par les essais de Gillespie. De même, on observe que la majorité des résultats montrent des temps de passage supérieurs aux 10 secondes minimums prescrites par la norme.

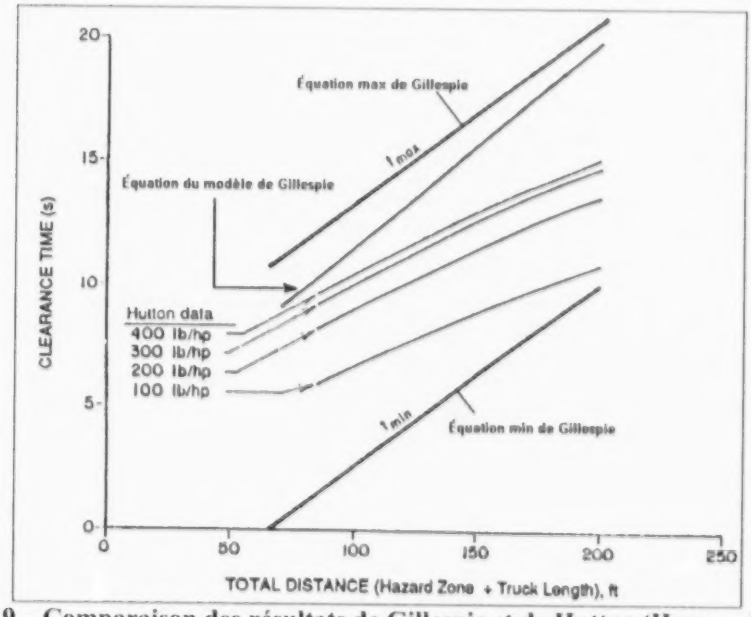


Figure 9 – Comparaison des résultats de Gillespie et de Hutton (Harwood, 1990)

1.4.2 Freinage

Le projet RTD 10, les Normes de conception géométriques et le *Green Book* (équivalent américain des Normes de conception géométriques) de l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) utilisent tous les mêmes formules pour calculer les distances de visibilité de freinage. Ces formules sont les suivantes :

Distance de freinage [ft] = V^2 [mi/h] / 30*fs (en système impérial)

Distance de freinage [m] = V^2 [km/h] / 254*fs (en système international)

où les coefficients de frottement (fs) prescrits sont présentés au tableau 18.

Tableau 18 – Coefficients de frottement prescrits par le projet RTD 10 (Tableau 4.4 du RTD 10)

Vitesse maximale admissible sur la route (km/h)	Coefficient de frottement (f)
30	0,40
40	0,38
47 – 50	0,35
55 – 60	0,33
63 – 70	0,31
70 – 80	0,30
77 – 90	0,30
85 – 100	0,29
91 – 110	0,28
98 – 120	0,28

Ces normes proposent aussi une formule corrigée lorsque la route est en pente :

Distance de freinage = V^2 [mi/h] / 30*(fs+G) (en système impérial)

Distance de freinage [m] = V^2 [km/h] / 254*(fs+G) (en système international)

où G : % de pente / 100

Pour obtenir les distances de visibilité de freinage, il faut donc ajouter à la distance de freinage la distance parcourue durant le temps de perception-réaction dont la valeur est généralement reconnue comme se situant autour de 2,5 secondes. Ces normes proposent donc la formule suivante pour la distance à ajouter à la distance de visibilité de freinage :

Distance à ajouter = 1,47 × Temps perception-réaction × Vitesse

D'un point de vue dynamique, ces équations sont toutes valables, mais les coefficients de frottement suggérés sont tirés d'essais réalisés il y a plus de 50 ans avec des automobiles procédant à un freinage avec roues bloquées sur de l'asphalte mouillée. Il est vraisemblable que les automobiles modernes offrent des performances meilleures qu'à cette époque. Toutefois, un ensemble de véhicules lourds ne peut freiner sécuritairement avec blocage des roues à cause des risques suivants : éclatement d'un pneu, mise en porte-feuille, ou instabilité latérale de la remorque. Pour le freinage contrôlé d'un véhicule lourd, les distances de freinage sont donc plus longues.

Pour ces raisons, le University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) ainsi que le National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) suggèrent d'utiliser un coefficient de friction de roulement qui est calculé comme suit :

$$Fr = fp * TF * BE * CE$$

où : fp : coefficient de friction maximale entre les pneus et la route
TF : facteur d'ajustement pour la profondeur des crampons
BE : facteur d'ajustement pour l'efficacité du système de freinage (typiquement entre 0,55 et 0,59)
CE : facteur d'ajustement pour l'efficacité du contrôle du freinage par le conducteur (varie entre 0,62 et 1,00)

Cette équation ainsi que les valeurs des coefficients à utiliser ont toutes été déterminées suite à des essais de freinage permettant d'évaluer l'effet des différents paramètres. Les graphiques des figures 10, 11 et 12 ainsi que le tableau 19 permettent d'évaluer les résultats de ces essais.

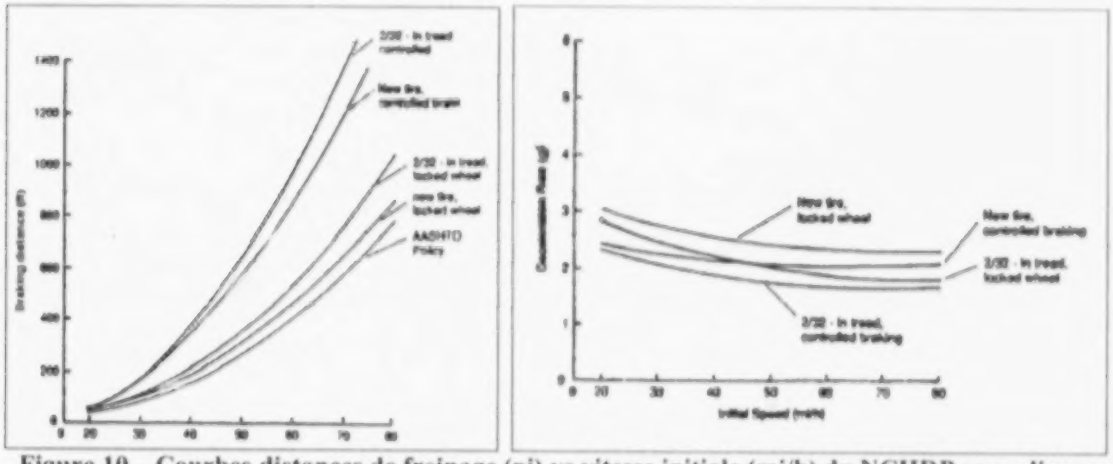


Figure 10 – Courbes distances de freinage (pi) vs vitesse initiale (mi/h) du NCHRP pour divers types de freinage et profondeurs des bandes de roulement des pneus (Harwood, 1990)

Tableau 19 – Performances de freinage identifiées lors des essais du NCHRP et de l'UMTRI (Harwood, 1990)

Table 6. Truck deceleration rates and braking distances for use in highway design.[a]

Vehicle speed (mi/h)	Deceleration rate (g)				Braking distance (ft)			
	AASHTO policy	Worst-performance driver[b]	Best-performance driver[c]	Antilock brake system	AASHTO policy	Worst-performance driver[b]	Best-performance driver[c]	Antilock brake system
20	0.40	0.17	0.28	0.36	33	77	48	37
30	0.35	0.16	0.26	0.34	86	186	115	88
40	0.32	0.16	0.25	0.31	167	344	213	172
50	0.30	0.16	0.25	0.31	278	538	333	269
60	0.29	0.16	0.26	0.32	414	744	462	375
70	0.28	0.16	0.26	0.32	583	1,013	628	510

a Based on an empty tractor-trailer truck on a wet pavement with SN_{eq} = 32.
b Based on driver control efficiency of 0.62.
c Based on driver control efficiency of 1.00.
Note: 1 mi = 1.61 km
1 ft = 0.305 m

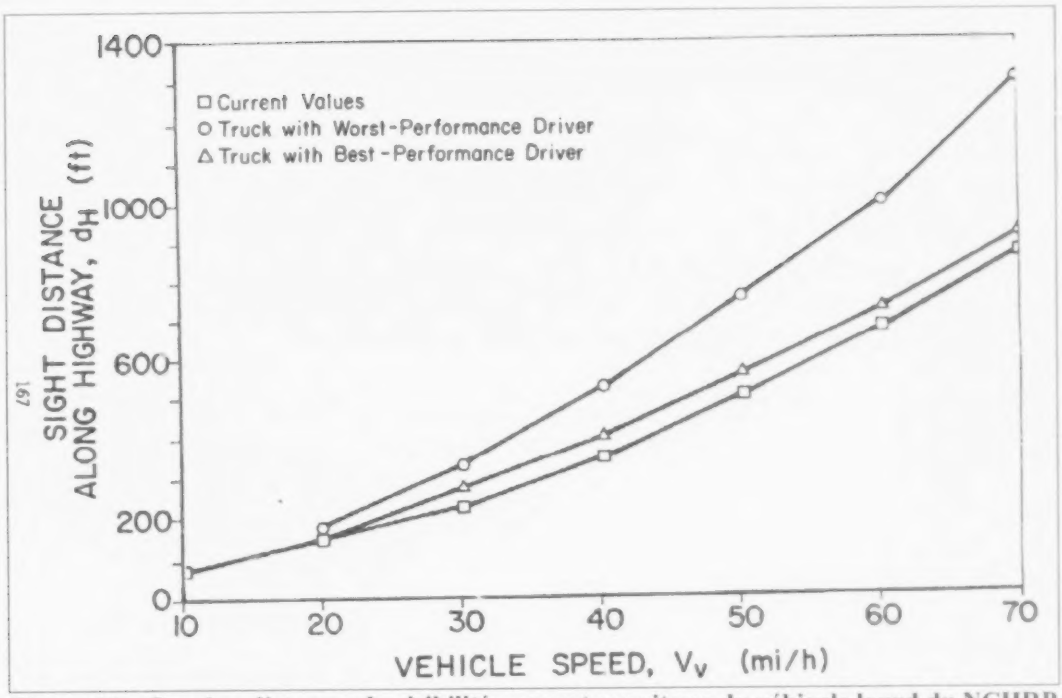


Figure 11 – Courbes distances de visibilité sur route vs vitesse du véhicule lourd du NCHRP (Harwood, 1990)

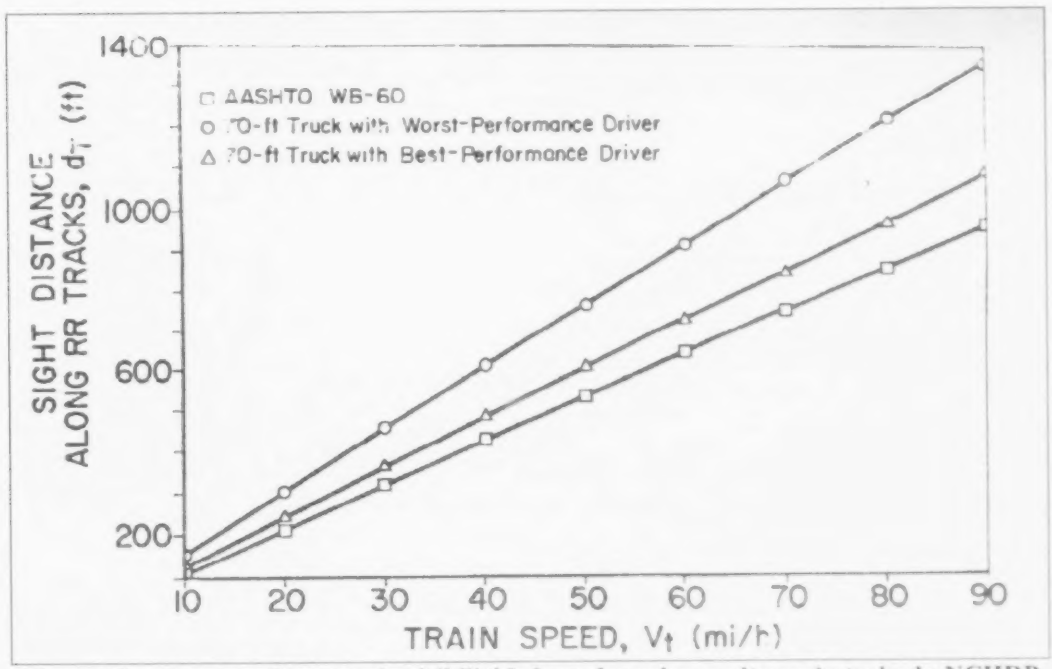


Figure 12 – Courbes distances de visibilité le long des voies vs vitesse du train du NCHRP (Harwood, 1990)

On note que les valeurs qui sont données comme étant celle de l'AASHTO sont équivalentes à celles du RTD 10 pour les automobiles.

À la suite de ces essais, ces deux instituts ont déterminé qu'un conducteur ayant une efficacité de freinage de 70 p. cent serait le plus représentatif de l'ensemble des conducteurs sur le réseau routier. Les auteurs ont aussi déterminé la formule suivante pour calculer le TF (le facteur d'ajustement pour la profondeur des crampons) :

$$TF = 1 - \frac{\Delta fp\left(1 - \sqrt{x\,n}\right)}{fp}$$

où : Δfp : différence entre les coefficients de frottement pour un pneu neuf et un pneu complètement usé
x : profondeur restante des crampons (utiliser 12/32 po si $x \geq 12/32$ po)
n : profondeur minimale assurant un coefficient de frottement égal à celui d'un pneu neuf (cette valeur est assumée à 12/32 po)

Les performances de freinage de véhicules lourds de Harwood (1990) présentées au tableau 19 sont celles apparaissant les plus réalistes, car elles sont relativement récentes et proposent des résultats selon l'habileté du conducteur. Les performances pour les conducteurs les plus habiles et expérimentés (*best performance driver*) étant les plus efficaces à contrôler, la qualité et l'équilibre du véhicule lors du freinage constituent une référence fort utile.

1.4.3 Recommandations

Les diverses études qui ont été examinées dans cette revue de littérature ont mené à la formulation de plusieurs recommandations pour l'amélioration de la sécurité des passages à niveau. Les plus significatives peuvent être regroupées en recommandations techniques et en recommandations touchant les aspects humains.

1.4.3.1 Aspects techniques

Tout d'abord, plusieurs études proposent que le moyen le plus sûr et le plus efficace d'éliminer le risque de collisions aux passages à niveau est de transformer ceux-ci en passages à niveau séparés (*underpass/overpass*). Bien que cette méthode soit la plus efficace, elle est très coûteuse et il n'est pas toujours avantageux de l'utiliser. D'autres méthodes permettant d'améliorer la sécurité aux passages à niveau sont l'installation de barrières aux passages à niveau actifs et la transformation des passages à niveau passifs en passages à niveau actifs dotés de feux d'avertissement. Ces méthodes sont moins coûteuses que la séparation de niveau, mais leur application doit toutefois être économiquement viable et se faire en fonction du trafic routier et ferroviaire au passage à niveau (Caird, et coll., 2002).

À un passage à niveau passif où il n'y a pas d'arrêt obligatoire, un triangle de visibilité est nécessaire pour assurer sa sécurité technique. Tel que mentionné précédemment, celui-ci est basé sur la distance de visibilité de freinage qui est l'arête de ce triangle le long de la route et sur la distance que le train parcourt durant le temps de passage à vitesse constante de cette distance de visibilité additionné de la distance de dégagement du passage à niveau et de la longueur du véhicule. Cette dernière distance est l'arête du triangle le long des voies. Comme on peut le croire, la distance de visibilité de freinage augmente avec la vitesse, alors que le temps de passage à partir de cette distance diminue avec une augmentation de vitesse. John A. Read (1995) a donc procédé à certains essais dans le but de minimiser les triangles de visibilité. Ses essais lui ont permis de conclure que pour la majorité des véhicules routiers, l'aire du triangle de

visibilité pouvait être minimisée, pour les véhicules lourds, pour une vitesse d'approche se trouvant entre 40 km/h et 50 km/h. Il suggère donc, dans le cas de passages à niveau passifs sans arrêt obligatoire, de fixer la limite de vitesse à 50 km/h pour minimiser la surface à dégager pour les triangles de visibilité (Read, 1995).

De nombreuses références suggèrent aussi d'ajouter des panneaux de limite de vitesse à plusieurs points précédant les passages à niveau, car ceux-ci ayant été conçus en fonction d'une vitesse de référence, les véhicules circulant plus vite ou moins vite par rapport à cette vitesse limite s'exposent plus à un risque de collision, particulièrement les véhicules longs et lourds (Caird, et coll., 2002).

Comme beaucoup de gens sont très peu familiers avec les méthodes de conception des passages à niveau, rares sont ceux qui, lorsqu'ils traversent un passage à niveau passif, connaissent les limites exactes du triangle de visibilité. Dans des cas où ces lignes seraient beaucoup plus grandes que les valeurs de conception, certaines personnes pourraient être portées à mal juger les actions à entreprendre s'ils notaient la présence d'un train. John A. Read (1995) suggère donc de placer des panneaux évocateurs aux limites du triangle de visibilité et des lignes de visibilité le long des voies pour éviter toute confusion.

Par ailleurs, plusieurs références, comme Caird (2002), suggèrent l'utilisation d'un panneau d'arrêt aux passages à niveau passifs où il est impossible de dégager un triangle de visibilité. Cette méthode est déjà utilisée à de nombreux passages à niveau. Toutefois, cette alternative ne devrait être utilisée que dans les cas où ces triangles de visibilité ne peuvent réellement être dégagés car l'étude de Kendall & Morrissette (1995) a montré que les véhicules lourds prenaient plus de temps à traverser le passage à niveau à partir d'un arrêt complet que lorsqu'ils roulent à vitesse constante.

Caird (2002) suggère aussi d'éclairer les passages à niveau actifs lors de la présence d'un train et d'éclairer les passages à niveau actifs en tout temps. Si on se réfère à ce qui est survenu le 19 décembre 2000 à Imperial Mills, en Alberta, (rapport du BST R00C0159, voir section 1.2.1), cette mesure pourrait sans nul doute améliorer la sécurité de certains passages à niveau.

Caird fait aussi une autre recommandation quant au problème de l'arrivée d'un deuxième train dont un exemple flagrant a pu être observé à Rivière-Beaudette le 4 novembre 1994 (rapport du BST R94D0191). Il suggère, pour les passages à niveau à plusieurs voies où il y a un trafic ferroviaire important, d'installer un système d'avertissement spécial qui préviendrait de l'arrivée d'un deuxième train sur une voie adjacente lorsqu'un premier train occupe déjà le passage à niveau. Un système de ce type a été testé dans le Northern Baltimore County au Maryland et s'est avéré très efficace (réf. 3).

Aussi, comme le souligne plusieurs études, Harwood, et coll. (1990) suggèrent d'augmenter les temps de passage pour la conception des lignes de visibilité pour accommoder les véhicules lourds et pour éviter qu'aux passages à niveau ceux-ci soient obligés de passer par une zone de non-retour dans laquelle leurs conducteurs n'ont plus le temps de freiner à temps ni la possibilité d'accélérer pour traverser le passage à niveau en toute sécurité.

1.4.3.2 Aspects humains

Les diverses recommandations qui touchent le côté humain du problème de sécurité des passages à niveau sont surtout d'ordre éducatif mais aussi au niveau de l'application de la loi. Voici donc quelques-unes des principales recommandations identifiées dans la littérature.

Tout d'abord, la majorité des sources ayant traité le côté humain du problème s'entendent pour dire qu'il y a un manque flagrant d'éducation des conducteurs quant à la connaissance des dangers inhérents aux passages à niveau. En effet, un grand nombre de conducteurs sont très insouciants du fait que les passages

à niveau sont libres de trains la très grande majorité du temps. Ces sources suggèrent donc de sensibiliser davantage les usagers de la route sur les dangers des passages à niveau et suggèrent d'améliorer la visibilité du programme *Gareautrain* qui est très peu connu de la population à l'heure actuelle.

Plusieurs sources font aussi remarquer qu'il y un manque de connaissances de la population quant aux attitudes à adopter à l'approche d'un passage à niveau. Beaucoup d'usagers ont encore tendance à ralentir à l'approche d'un passage à niveau, alors que malgré l'apparence sécuritaire de cette attitude, elle est en fait plus risquée que de rouler à la limite de vitesse lors de l'approche d'un passage à niveau. Ces références suggèrent d'améliorer le contenu traitant des passages à niveau dans le programme des cours et des examens de conduite et de sensibiliser la population aux risques de rouler à une vitesse s'éloignant de la limite de vitesse lors de la traversée d'un passage à niveau (Read, 1995).

Bien sûr, certaines personnes suggèrent aussi d'améliorer l'application des lois aux passages à niveau. Plusieurs méthodes ont été suggérées, comme par exemple augmenter la présence policière aux passages à niveau. Toutefois, il n'est pas toujours avantageux ni économiquement viable de monopoliser le temps qu'un policier pourrait utiliser à régler d'autres problèmes. L'installation de caméras de surveillance attribuant automatiquement des contraventions aux conducteurs délinquants a également été suggérée. Ce type de dispositif a été mis à l'essai à plusieurs endroits aux États-Unis, notamment à Los Angeles où cela s'est avéré très efficace. Néanmoins, ce genre de système n'est pas encore très bien socialement accepté au Canada et son utilisation ne devrait pas être nécessairement automatique (réf. 2).

2. ESSAIS D'ACCÉLÉRATION ET DE FREINAGE DE VÉHICULES LOURDS

Les tenants et aboutissants de la sécurité des véhicules lourds aux passages à niveau sont maintenant bien identifiés. Le développement d'un outil de conception et de vérification adapté devra donc en tenir compte mais devra également être validé à l'aide de résultats d'essais d'accélération et de freinage réels de véhicules lourds. Tel que mentionné précédemment, certains résultats d'essais utilisés en ce moment comme référence dans les normes de conception ne sont pas tous bien adaptés aux véhicules lourds actuels. Nous avons donc identifié, avec l'aide du comité de suivi du projet, des véhicules lourds typiques ainsi que des passages à niveau qui représentent les limites des géométries permises par les normes de conception actuelles. Nous avons ensuite réalisé trois séries d'essais, soit dans l'ordre :

- essais d'accélérations sur chaussée en asphalte sèche sur une distance maximale de 125 m et sur chemin en gravier sur une distance maximale de 55 m;
- essais de freinage à partir de 90 km/h sur chaussée en asphalte mouillée;
- essais d'accélération à partir de la ligne d'arrêt et jusqu'à la ligne de dégagement de neuf passages à niveau typiques.

Les essais ont été réalisés sur une période s'étendant du 3 août 2002 au 11 février 2003, sur les pistes d'essais du Centre de formation en transport routier (CFTR) de la commission scolaire de la Rivière du Nord, sur les pistes d'essais de PMG Technologies à Blainville et sur huit passages à niveau dans la région comprise entre Blainville et Saint-Jérôme ainsi que sur un passage à niveau forestier situé au nord de La Tuque. Le système d'acquisition de données qui a été utilisé lors de tous les essais de marque Racelogic, type *Velocity-Box*, est un dispositif de haute précision utilisant la technologie GPS.

Un rapport intérimaire, présenté en novembre 2002, fait état de l'ensemble des procédures d'essais, identifie avec précision les caractéristiques des véhicules d'essais utilisés, présente la description et les plans des sites utilisés et présente finalement les résultats détaillés des essais d'accélération et de freinage effectués. Les prochaines sections en font le résumé général.

2.1 Véhicules d'essais

Pour la réalisation des essais, le CFTR a mis à notre disposition sa flotte de véhicules routiers. Cette flotte de 58 tracteurs, de 5 camions porteurs et de 67 remorques de divers types nous a offert un très grand choix pour sélectionner les véhicules d'essais. Afin de choisir le meilleur éventail de véhicules représentant bien la composition du trafic de véhicules lourds sur les routes canadiennes, nous avons donc établi certaines caractéristiques significatives sur lesquelles nous nous sommes basés lors de la sélection des véhicules utilisés au cours des essais. Ces caractéristiques ont été retenues parce qu'elles affectent le plus les performances d'accélération et de freinage des véhicules. Il s'agit généralement de la puissance du moteur, du nombre de rapports de la transmission, du nombre d'essieux ainsi que du poids total en charge du véhicule. Comme les essais doivent être représentatifs des performances qu'il est possible d'obtenir sur la route, les véhicules d'essais ont été chargés à leur pleine capacité légale afin qu'il soit possible de mesurer leurs pires performances.

Afin de nous assurer que notre choix de caractéristiques donnait bien les pires performances, nous avons volontairement choisi quatre véhicules d'un même type (tracteur à 3 essieux et remorque à 2 essieux), mais équipés de composantes mécaniques, moteurs et transmissions différents pour étudier uniquement l'effet de la puissance du moteur et des rapports de transmission sur les résultats. De plus, étant donné que le transport d'un liquide de haute densité dans une citerne non compartimentée pose des problèmes particuliers (notamment le déplacement du liquide sous accélération), nous avons utilisé deux véhicules

citernes non compartimentés, un tracteur semi-remorque à 6 essieux et un train routier de type B, fournis par Brasseur Transport et transportant de l'eau jusqu'à la capacité de charge légale des citernes. Aucun train routier de type A et C n'a été sélectionné, car ils sont peu nombreux sur nos routes et de plus, comme ils disposent du même nombre d'essieux que les trains de type B, il n'y avait aucune raison de croire en une différence de performance entre ces types de véhicules et les trains de type B. Nous avons aussi choisi un autobus scolaire, fourni par Autobus Paquette, et un autobus interurbain, fourni par Autocar Chartrand, ainsi qu'un tracteur semi-remorque forestier, pour un grand total de 21 véhicules lourds. En ce qui concerne l'ensemble des véhicules forestiers, ce type de véhicule se distingue par sa très grande masse en charge et par ses dimensions hors normes et présente un intérêt dans le cadre de cette étude puisque certains passages à niveau se trouvent sur les routes forestières.

2.2 Essais d'accélération

Les essais d'accélération sur piste ont été réalisés avec presque tous les véhicules d'essais. Quelques essais préliminaires d'accélération ont été réalisés par Alain Côté, notre pilote d'essai, avec les divers véhicules d'essais pour lui permettre de se familiariser avec les véhicules et la procédure d'essais. Ces essais préliminaires ont également permis d'établir la méthode d'accélération utilisée. Nous avons ainsi choisi la méthode d'accélération avec changement de rapports progressif. Le régime moteur maximal lors de chaque changement de rapport de vitesses est alors progressivement augmenté. Par exemple, le changement du premier au deuxième rapport de transmission se fait à un régime moteur de 1 250 tr/m, celui du deuxième au troisième rapport se fait à 1 350 tr/m, celui du troisième au quatrième rapport se fait à 1 450 tr/m et ainsi de suite. Bien sûr, dépendant des caractéristiques des moteurs et des rapports de transmission, les régimes de changement de rapports peuvent varier légèrement d'un véhicule à l'autre. Il s'agit de la méthode normalement utilisée par les conducteurs de véhicules lourds, car elle permet une meilleure efficacité énergétique, c'est-à-dire que son utilisation permet de réduire la consommation de carburant, tout en ne diminuant que de façon très minime les performances d'accélération des véhicules. Par ailleurs, des essais préliminaires ont également été effectués en utilisant deux autres techniques de changement de vitesse qui n'ont pas été retenues, car elles ne sont pas suffisamment représentatives de l'usage normal. Ces deux techniques sont l'accélération maximale, c'est-à-dire des essais réalisés en changeant les rapports au régime où la puissance motrice est maximale, ainsi que l'accélération en passant par tous les rapports de vitesse incluant les demi-rapports. En effet, sur un terrain relativement plat, le conducteur d'un véhicule lourd équipé d'une transmission à 18 vitesses, même à pleine charge, n'utilise que ses neuf vitesses principales, les autres étant des demi-rapports utilisés seulement dans des pentes.

Des essais d'accélération avec changement de rapports ont été effectués avec chacun des véhicules d'essais à l'exception des deux autobus qui étaient équipés de transmissions automatiques. Des essais d'accélération sans changement de rapport ont aussi été conduits sur plusieurs véhicules de manière à évaluer l'incidence des règlements provinciaux interdisant de changer les rapports de vitesses au-dessus des rails. Tel que le permet la réglementation, des changements de rapports ont été effectués dans les cinq premiers mètres de l'accélération (c'est-à-dire la distance parcourue avant d'atteindre le premier rail de la voie ferrée). Il faut noter que, pour chacun des véhicules d'essais, un seul changement de rapport a été possible sur cette très courte distance. La présence de voies ferrées en mauvais état a également été simulée de manière à mesurer son effet sur les performances d'accélération, les conducteurs ayant alors tendance à ralentir ou cesser d'accélérer pour éviter les secousses et ne pas endommager leur véhicule. Nous avons donc simulé la présence de rails de chemin de fer et d'une surface de passage en mauvais état en clouant des planches de 2 × 3 (1½ po × 2½ po) dans la chaussée lors des essais sur surface en gravier.

Les essais d'accélération de franchissement des passages à niveau typiques (essais sur sites) ont ensuite été effectués avec les véhicules les plus longs et lourds de chaque catégorie, soit un camion porteur, un tracteur semi-remorque et un train routier. De plus, un tracteur semi-remorque forestier lourdement

chargé de bois en longueur a été mis à l'essai sur un site forestier. La méthode de changement de rapport progressif a alors également été utilisée. Pour les passages à niveau en pente et ceux présentant un profil n'étant pas horizontal sur toute la distance d'accélération, les essais ont été faits dans les deux directions. Les distances d'accélération utilisées sont la somme de la distance de dégagement du passage à niveau et de la longueur du véhicule d'essais. À l'un des sites d'essais, une intersection à 30 m a également été simulée pour évaluer l'effet de la présence d'une telle intersection. La présence d'une intersection après le passage à niveau peut affecter le temps de passage, particulièrement pour les longs véhicules, le conducteur devant arrêter d'accélérer alors qu'il n'a pas encore complètement dégagé le passage à niveau. Par ailleurs, plusieurs séries d'essais d'accélération sans changement de rapports ont également été réalisées sur les sites d'essais.

Pour ce qui est des résultats obtenus, ils se présentent sous la forme de courbes d'accélération montrant le temps d'accélération ou de passage en fonction de la distance parcourue. Pour les accélérations sur chaussée en asphalte, le temps requis pour parcourir la distance de 125 m varie de 15 à 43 s, suivant le type de véhicules utilisés et la méthode de changement de rapports. Pour ce qui est des essais sur gravier simulant la présence d'une surface de passage en mauvais état, les résultats montrent que ce facteur a une incidence certaine sur le temps de franchissement tel que présenté à la figure 13.

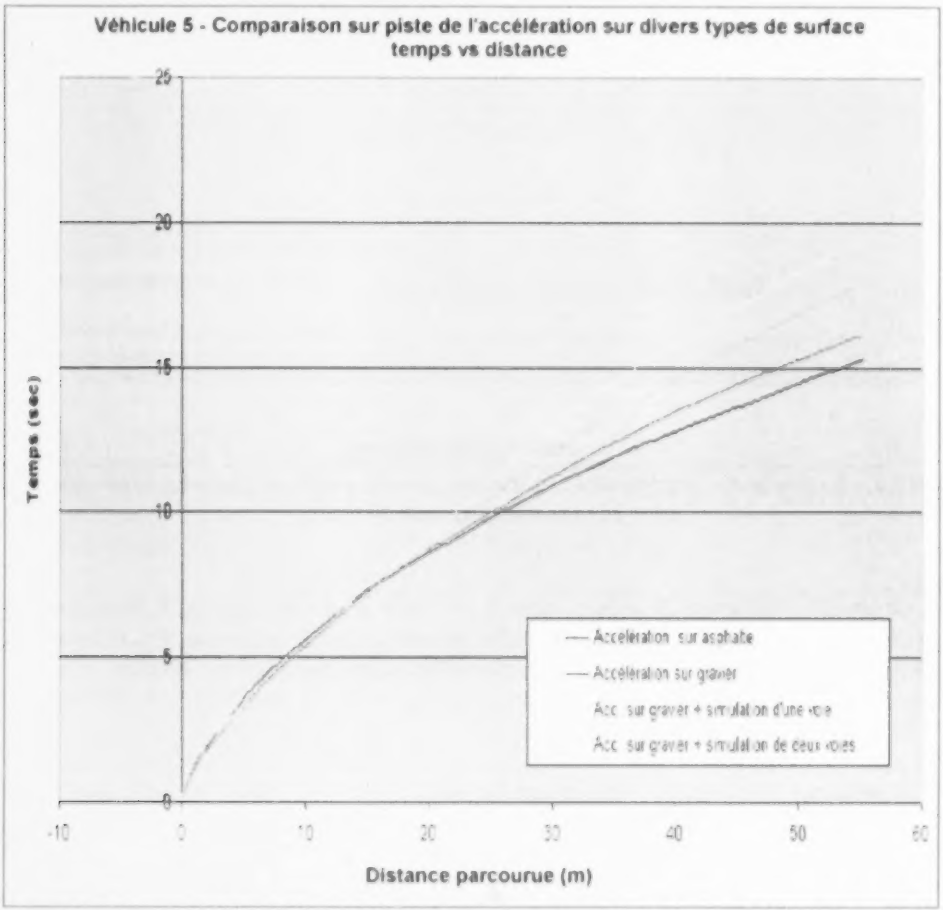


Figure 13 – Courbes d'accélérations comparatives sur surface en asphalte et en gravier et avec simulation d'un mauvais état de la surface de passage

Par ailleurs, la figure 14 illustre les résultats comparatifs sur site lors du passage d'un tracteur semi-remorque avec et sans changement de vitesse. Les résultats indiquent bien que le temps de franchissement est sensiblement plus long lorsqu'il y a interdiction de changer de vitesse.

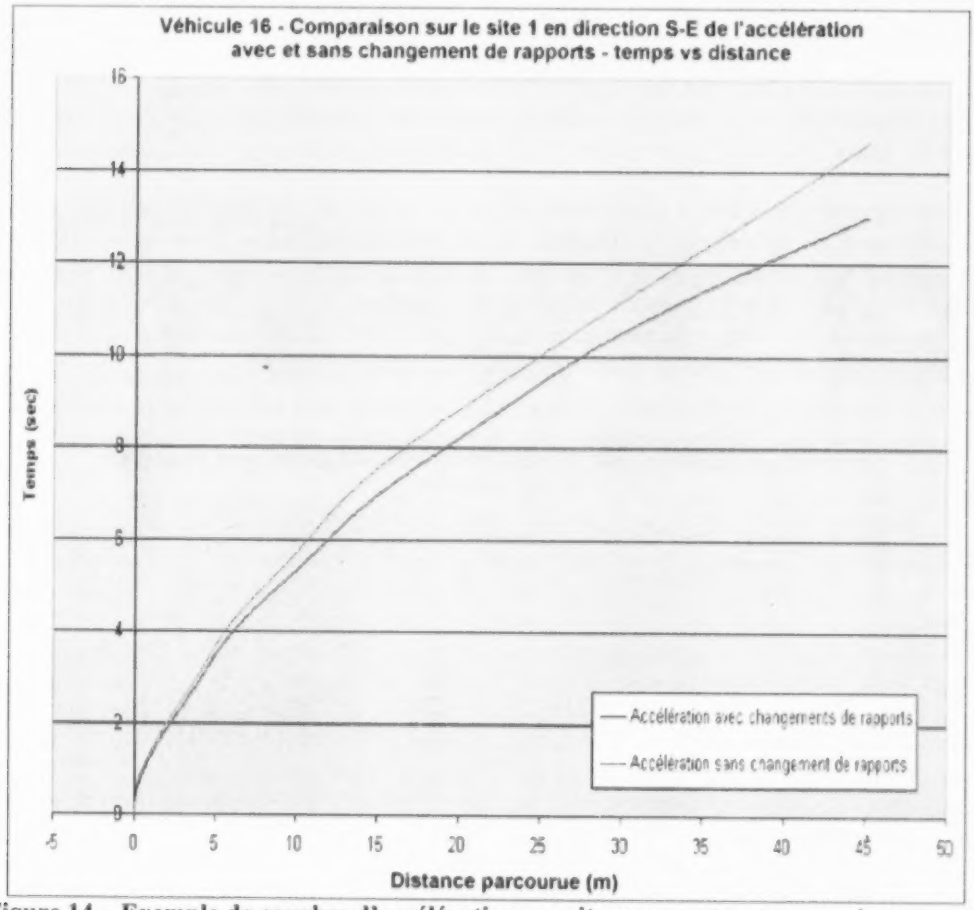


Figure 14 – Exemple de courbes d'accélération sur site pour un tracteur semi-remorque avec et sans changement de vitesse

Un exemple de résultats comparatifs avec et sans la présence d'une intersection à 30 m lors du passage d'un train routier est présenté à la figure 15. Cette simulation de la présence d'une intersection a été établie de manière à représenter le scénario le plus critique correspondant aux normes actuelles. On n'y note que lors de la traversée d'un passage à niveau à deux voies, il y a alors une différence d'environ une seconde dans le temps de franchissement.

Le tableau 20 présente les résultats de l'ensemble des essais sur sites. On note que les temps de franchissement varient de 7 à 18 secondes environ, suivant le type de véhicule utilisé et la géométrie de la voie ferrée.

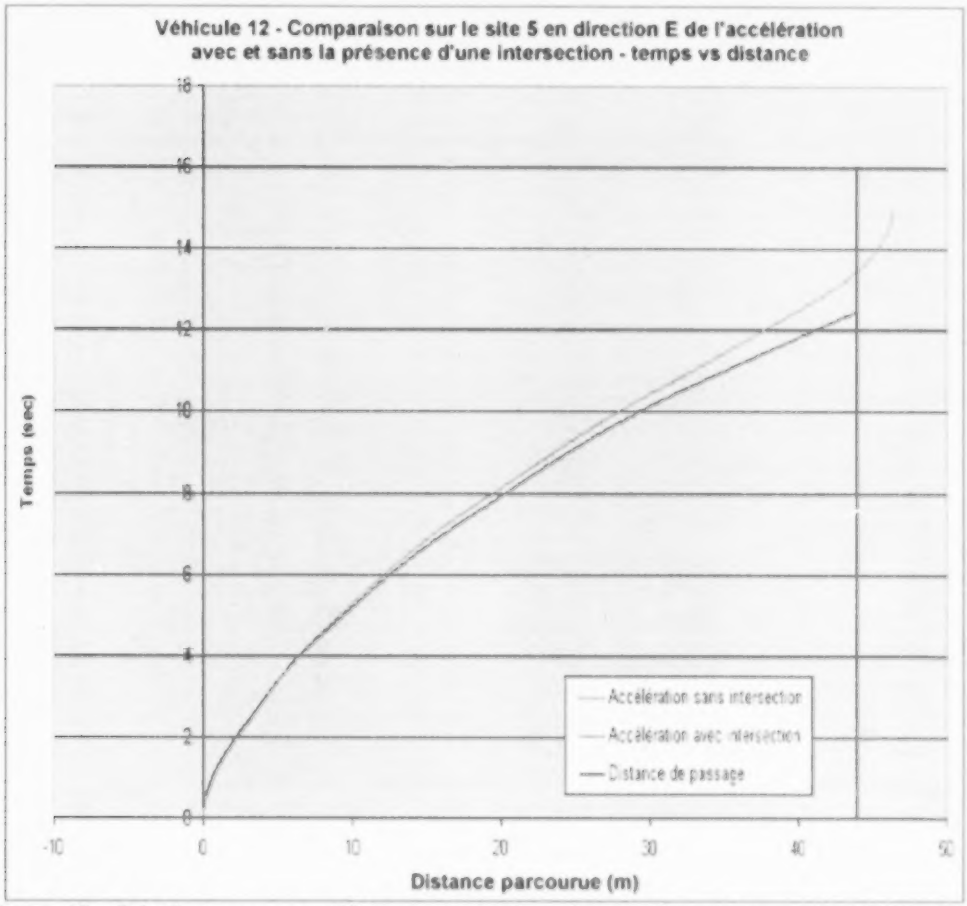


Figure 15 – Résultats comparatifs avec et sans la présence d'une intersection à 30 mètres lors du passage d'un train routier

Tableau 20 – Résultats des essais d'accélération sur sites
[Temps de passage des véhicules aux sites d'essais]

	Temps de passage (secondes)			
	Distance de dégagement	**Véhicule 2**	**Véhicule 12**	**Véhicule 16**
Site 1 – direction S-E	25 m	10,41	15,26	13,04
Site 1 – direction S-E – Sans chang. de rapports	25 m			14,65
Site 2 – direction N-O	11,4 m	8,14	13,93	11,88
Site 2 – direction N-O – Sans chang. de rapports	11,4 m			12,43
Site 2 – direction S-E	11,4 m	6,83	11,31	9,48
Site 3 – direction N-E	9,1 m	7,08	17,71	9,82
Site 4 – direction N-E	9,1 m	7,00	11,26	9,95
Site 5 – direction E	19,4 m	9,11	12,47	11,41
Site 5 – direction E – Intersection	19,4 m	9,10	13,55	11,90
Site 5 – direction O	19,4 m	9,28	13,57	12,09
Site 6 – direction N-N-E	15,8 m	7,01	10,62	9,45
Site 6 – direction S-S-O	17,3 m	8,16	14,63	11,70
Site 7 – direction N-E	13,4 m	8,02	12,50	11,20
Site 8 – direction N	39,6 m	12,58	16,44	16,01
Site 8 – direction S	39,6 m	12,50	16,14	15,40

2.3 Essais de freinage

Pour éventuellement tracer les triangles de visibilité à partir des distances d'arrêt des véhicules lourds, des essais de freinage ont été réalisés sur asphalte mouillée (condition usuelle de la conception des routes au Canada) à partir d'une vitesse initiale de 90 km/h. Les résultats d'essais à cette vitesse peuvent ensuite être interpolés facilement pour toute vitesse plus basse. Ces résultats ne tiennent évidemment pas compte des distances parcourues durant les temps de perception et de réaction qui devront donc être ajoutées par la suite pour obtenir les distances de freinage réelles. Comme la performance en freinage n'est affectée que par la masse du véhicule et sa distribution sur les divers essieux, seuls six des véhicules d'essais ont été soumis aux essais de freinage. Il s'agit de deux véhicules citernes, des deux camions porteurs les plus lourds, de même que de la semi-remorque et du train routier les plus longs et lourds. À cause des dangers inhérents à ce genre d'essais, il ne pouvait être question de les réaliser sur des sites et ces essais ont donc tous été conduits sur une piste fermée à toute circulation du centre d'essais de PMG Technologies à Blainville.

Les résultats sont présentés sous la forme de courbes de freinage montrant la distance parcourue en fonction de la vitesse. La figure 16 illustre les résultats comparatifs obtenus pour les six véhicules d'essais. Pour ces essais de freinage à partir de 90 km/h sur asphalte mouillée, les distances de freinage obtenues varient donc de 67 à 116 m, suivant le type de véhicule utilisé.

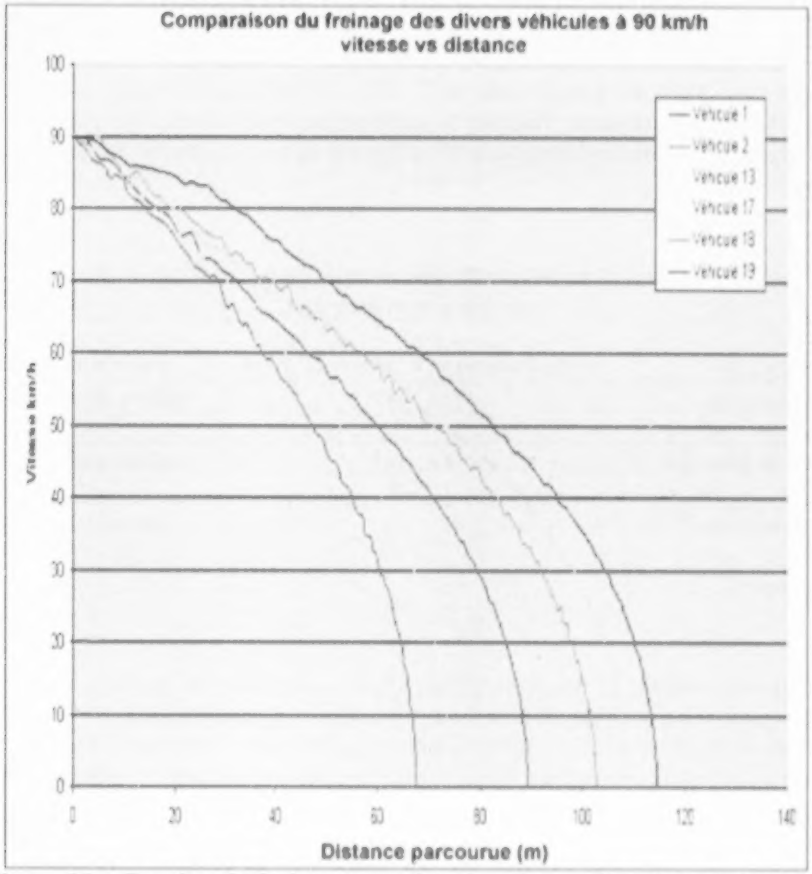


Figure 16 – Courbes de freinage sur piste des divers véhicules mis à l'essai

3. RÉSULTATS D'INTERVIEWS AVEC DES CONDUCTEURS

Au cours de la période allant de juin 2002 à avril 2003, nous avons interrogé, au Québec, près d'une centaine de conducteurs de camions porteurs, autobus et tracteurs semi-remorques rencontrés par hasard au sujet de leurs comportements lors de la traversée de passages à niveau. Le tableau 21 présente un résumé des réponses obtenues.

Tableau 21 – Résultats des interviews avec des conducteurs au sujet de leurs comportements aux passages à niveau

Méthode d'accélération utilisée en traversant un passage à niveau	Faites-vous des changements de vitesse lors de la traversée d'un passage à niveau?	Précautions prises lors de l'approche d'un passage à niveau
Identique à une intersection normale : **73 %**	Oui : **52 %**	Arrêt complet : **48 %**
Plus rapide qu'à une intersection normale : **3 %**	Non : **48 %**	Regarde si un train arrive : **62 %**
Plus lente qu'à une intersection normale : **24 %**		Écoute si un train arrive : **8 %**
		Ralenti : **14 %**

En ce qui concerne la méthode d'accélération employée, on note que la grande majorité des conducteurs (73 p. cent) accélèrent de la même manière en passant au-dessus du passage à niveau que s'ils traversaient une intersection routière normale. Toutefois, un pourcentage relativement élevé de 24 p. cent des conducteurs disent accélérer plus lentement que normalement en traversant des rails de chemin de fer. Ceci illustre bien que des facteurs de sécurité lors des calculs des temps de franchissement doivent être appliqués. Par ailleurs, pour ce qui est de la possibilité de changer de vitesse lors de la traversée, on note que plus de la moitié des conducteurs le font, et ce même si la réglementation provinciale l'interdit. Finalement, il est intéressant de noter que dans le meilleur cas, seulement 62 p. cent des conducteurs disent prendre la précaution de vérifier visuellement si un train se dirige vers le croisement. Tel que déjà mentionné à la section 1.4.3.2, il semble bien qu'il y a un manque de conscientisation et de formation des conducteurs de poids lourds au sujet de la sécurité aux passages à niveau.

4. CRÉATION D'UN OUTIL DE CONCEPTION ET DE VÉRIFICATION DES PASSAGES À NIVEAU

Tel que mentionné précédemment, l'objectif ultime du programme d'essai et de la modélisation mathématique est la production d'un outil de conception et de vérification des passages à niveau qui sera intégré au projet de norme fédérale RTD 10.

L'outil de conception et de vérification des passages à niveau doit donc permettre le calcul des triangles de visibilité adaptés au véhicule type sélectionné, à la réglementation provinciale en vigueur, ainsi qu'aux caractéristiques du passage à niveau lui-même. Pour ce faire, un modèle mathématique de l'accélération doit être développé à partir des résultats des essais et les pires performances d'accélération de classes de véhicules types doivent être établies. De même, les performances en freinage des véhicules lourds doivent être établies en fonction des résultats des essais de freinage effectués, de manière à permettre le calcul des distances de visibilité d'arrêt. L'outil final permettra aussi de déterminer les délais d'avertissement pour les passages à niveau actifs.

4.1 Modélisation mathématique de l'accélération

Le modèle mathématique développé représente l'accélération des véhicules lourds à partir de leurs caractéristiques fonctionnelles. Pour ce faire, l'équation différentielle du mouvement pour l'accélération a été utilisée, soit :

$$\text{Accélération} = \frac{\text{F. motrice - F. traînée - F. résistance au roulement - F. pente}}{\text{Masse effective}}$$

où :

$$\text{F.motrice} = \frac{\text{Couple moteur x Rapport de réduction x Efficacité}}{\text{Rayon des roues}}$$

$$\text{F.traînée} = \frac{\text{Aire frontale x Coefficient de traînée x Densité de l'air x Vitesse}^2}{2}$$

$$\text{F. rés. au roulement} = \text{Masse x 9,81 m/s}^2 \text{ x Coefficient de friction de roulement}$$

$$\text{F. pente} = \text{Masse x 9,81 m/s}^2 \text{ x Sinus (arc tangente (Pente (\%) / 100 \%))}$$

$$\text{Masse effective} = \text{Masse x Facteur compensant l'inertie des éléments rotatifs}$$

Le logiciel MATLAB et la méthode de résolution numérique de haute précision Runge-Kutta d'ordre 4 ont été utilisés pour résoudre cette équation. Les caractéristiques fonctionnelles des véhicules lourds utilisés lors de la modélisation sont, entre autres, les courbes de couple moteur (voir figure 17), les rapports de transmission, les rapports de différentiel, les aires frontales, les masses, les longueurs, le nombre de roues, les rayons de roulement et l'inertie des éléments rotatifs.

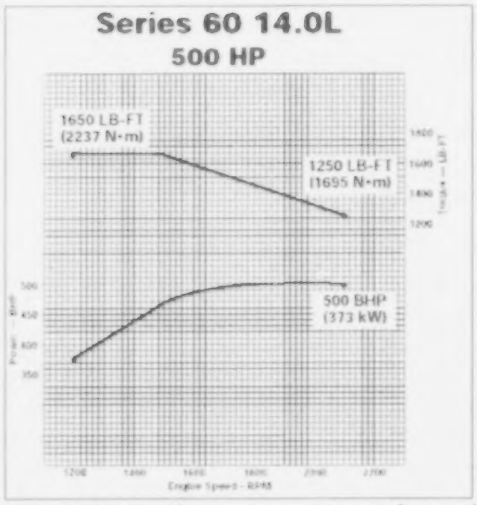


Figure 17 – Courbes de puissance et de couple pour un moteur de camion de marque Detroit Diesel, modèle Série 60, de 14 litres de cylindrée et de 400 hp

Le modèle mathématique a ensuite été validé à l'aide des résultats des essais sur pistes. Il a alors été possible de déterminer de façon plus précise divers facteurs tels que l'efficacité des rapports de transmission, les temps de changement de rapports, les régimes moteurs de changement de rapport, les coefficients de résistance au roulement sur asphalte et sur gravier, ainsi que les masses effectives (inerties des roues, des freins et du moteur).

Les essais d'accélération sur les sites ont par la suite permis de valider la partie du modèle mathématique portant sur les caractéristiques des passages à niveau. Ces caractéristiques sont principalement les pentes d'approche et de départ, l'angle entre la route et les voies et l'état de la surface de passage. Une fonction pente, validée par des essais sur les sites, a donc été intégrée au modèle, de manière à tenir compte du profil de l'approche et de la sortie du passage à niveau. En tout, un ensemble de 17 profils typiques a été établi, proposant des profils allant du plat jusqu'à la montée ou la descente à 5 p. cent, tel que proposé dans le projet de normes RTD 10. Ces profils de pente de la route pour des pentes de 5 p. cent sont présentés à la figure 18. Le profil plat, les huit profils de la figure 18 ainsi que ces mêmes profils pour des pentes de 2 p. cent représentent donc l'ensemble des 17 profils proposés.

Notons que la fonction pente du modèle fait également varier le temps de passage de vitesse selon la sévérité et la nature de la pente. Nous avons en effet observé que le chauffeur change plus rapidement de vitesse en montée, pour minimiser sa perte de vitesse, et plus lentement en descente puisque le véhicule accélère alors sous l'effet de la pente. En fait, les caractéristiques opérationnelles liées au conducteur sont déterminées pour un conducteur de peu d'expérience. Pour ce faire, les temps de passage de vitesse de notre pilote d'essai expérimenté ont été multipliés par 50 p. cent de manière à simuler un conducteur moins habile. Des temps caractéristiques de passage de vitesse variant de 1,5 à 3 secondes, selon le profil de la pente, ont ainsi été établis, tel que présenté au tableau 22. Ces temps ont été validés par l'observation de la performance de la manipulation de la boîte de vitesse de jeunes conducteurs de véhicules lourds possédant peu d'expérience. Ils s'appliquent donc à la très grande majorité des conducteurs, et plus particulièrement à des conducteurs moins habiles ou ne conduisant que de façon occasionnelle, des camions dotés d'une transmission manuelle.

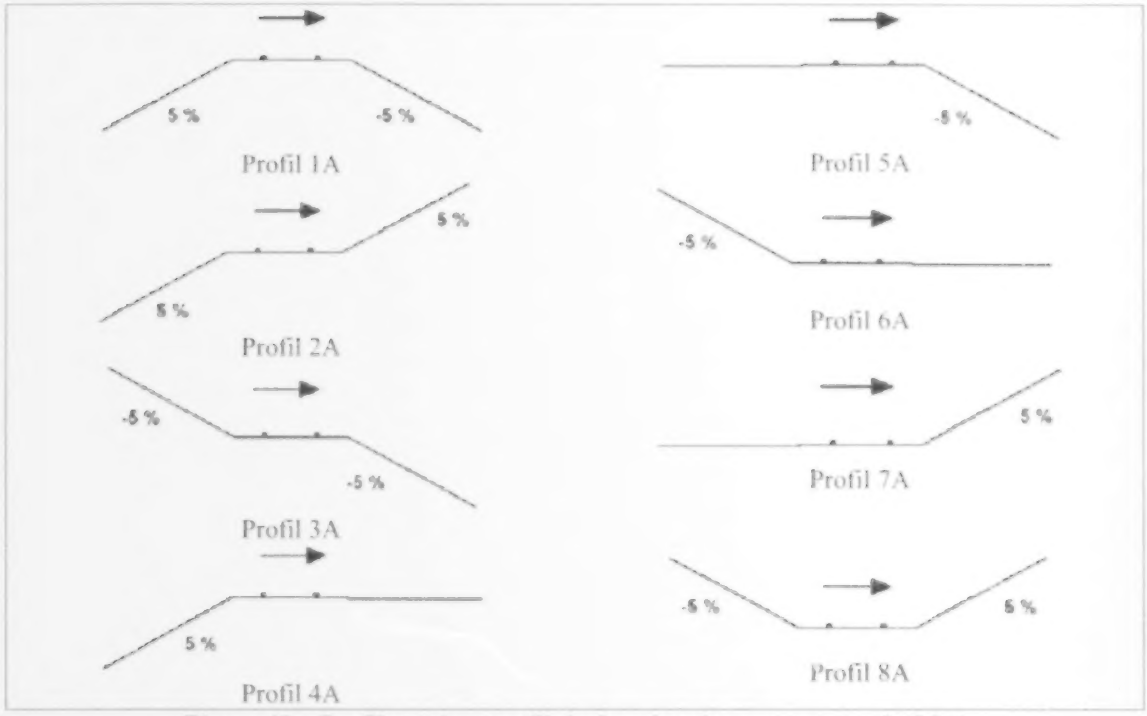


Figure 18 – Profils typiques utilisés dans les abaques (pentes de 5 %)

Tableau 22 – Temps de changement de vitesse selon l'habileté du conducteur

Temps de changement de vitesse du conducteur professionnel (pilote d'essai)	
Sur le plat	1,5 seconde
En montée à 5 %	1,0 seconde
En descente à 5 %	2,0 secondes
Temps de changement de vitesse utilisé dans l'outil et simulant la performance d'un conducteur peu expérimenté (performance du pilote d'essai + 50 %)	
Sur le plat	2,25 secondes
En montée à 5 %	1,5 seconde
En descente à 5 %	3,0 secondes

Les résultats des essais d'accélération nous ont permis d'identifier quatre catégories de véhicules types (voir figure 19), soit les autobus, les camions porteurs, les ensembles de véhicules (tracteurs semi-remorques et trains routiers), ainsi que les ensembles de véhicules forestiers hors normes. Lorsque comparés avec les classes de véhicules de la norme RTD 10 du tableau 8, on note alors que les classes 2, 3 et 4 peuvent être intégrées au véhicule type «camion porteur», que les classes 5, 6, 7 et 8 s'intègrent au véhicule type «ensemble de véhicules», et finalement les classes 9, 10 et 11 s'intègrent à la catégorie de véhicule type «autobus».

En se basant sur les caractéristiques opérationnelles les plus astreignantes, la pire performance obtenue pour chaque catégorie de véhicules a été retenue. Ces caractéristiques sont les poids et les longueurs maximaux des véhicules, ainsi que le coefficient de frottement d'une chaussée en gravier qui tient compte du mauvais état de la surface de passage.

Par ailleurs, les longueurs des véhicules types qui doivent être utilisées dans les divers calculs des triangles de visibilité sont présentées au tableau 23.

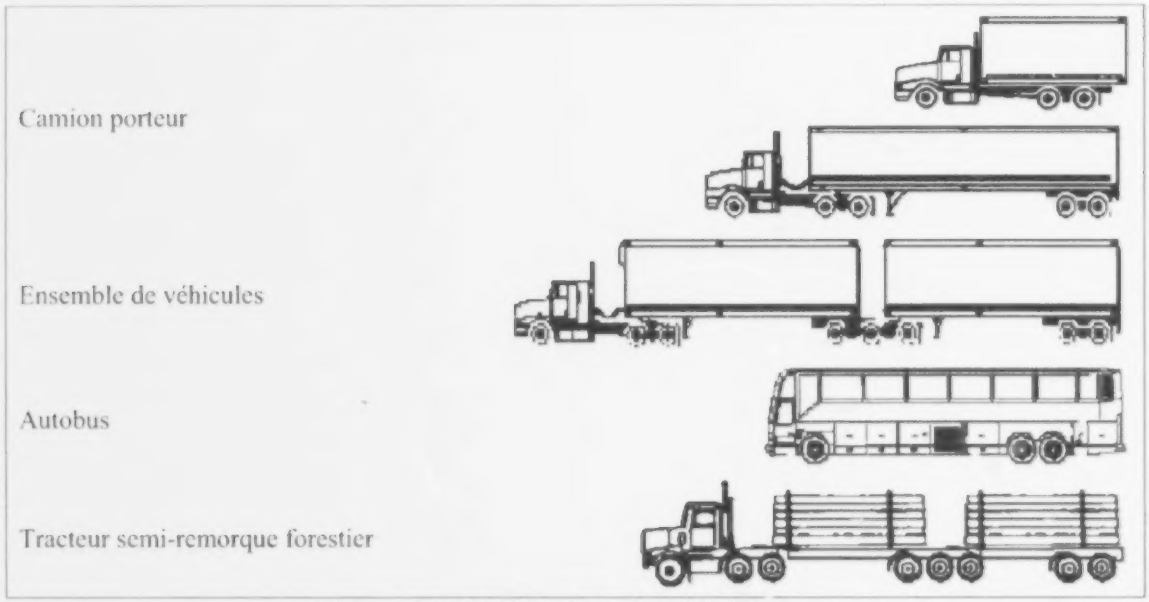


Figure 19 – Identification des véhicules types

Tableau 23 – Longueur maximales des véhicules types

Véhicule type	Longueur maximale
Camion porteur	12,5 m
Ensemble de véhicules	25,0 m
Autobus	18,5 m
Camion forestier	29,0 m

4.2 Abaques de calcul des temps de passage à partir de l'arrêt

La modélisation mathématique de l'accélération permet donc de produire des abaques des temps de franchissement des passages à niveau à partir de l'arrêt. La figure 20 présente un exemple de ces abaques. L'ensemble des abaques développées pour les 17 profils typiques est présenté à l'Annexe A du présent rapport. On note que plusieurs profils sont regroupés dans la même abaque, les performances de passage étant équivalentes. Ces abaques sont les premiers éléments de l'outil de conception et de vérification des passages à niveau. Pour chaque profil typique et pour chacun des véhicules lourds types, ces abaques proposent des relations de temps de franchissement en fonction de la distance de dégagement du passage à niveau. On note que les courbes incluent le temps de perception/réaction du conducteur, ainsi que la longueur des véhicules. De plus, les abaques sont basés sur des profils de passages à niveau à une voie, situation que notre modèle a montré comme étant conservateur. Dans les cas où il y a interdiction de changer de vitesse sur les voies, des abaques distincts sont proposés, ce qui explique pourquoi il y a deux abaques par profil type.

Pour un passage à niveau en très mauvais état et dont les rails dépassent de beaucoup la surface de passage, on suggère l'utilisation de l'abaque produit pour le cas où le changement de vitesse est interdit. Ceci simule bien le comportement du conducteur qui, lors de la traversée sur un passage à niveau en mauvais état, a alors tendance à ne pas accélérer en passant au-dessus des rails. Certaines autres conditions spéciales ont été établies pour traiter le cas des véhicules citernes (temps de franchissement multiplié par un facteur de 1,2) ainsi que le cas où une intersection se situe à proximité du passage à niveau (augmentation du temps de perception/réaction du conducteur de 2,5 secondes à 4,0 secondes). Ces correctifs ont été validés lors de l'analyse des résultats des essais d'accélération. Le tableau 24 résume les conditions spéciales d'utilisation des abaques.

Par ailleurs, pour chaque abaque, les véhicules types possédant des performances très similaires (différence de moins d'une seconde sur une accélération jusqu'à une distance de dégagement de 100 m) ont été intégrés à une même catégorie, pour plus de simplicité. Il en résulte que pour certains profils types, les performances de la classe véhicule forestier sont intégrées à celles de la classe ensemble de véhicules. De plus, les performances du véhicule type autobus ne sont pas données pour les abaques sans changement de vitesse, car on utilise des véhicules à transmission automatique comme référence.
L'utilisateur de l'outil doit donc choisir une catégorie de véhicule, déterminer s'il y a interdiction de changer de vitesse (ou si le passage à niveau est en très mauvais état), mesurer ou établir les profils dans les deux directions du passage à niveau et trouver les abaques correspondants. Dans le cas d'autres profils que ceux proposés, il faut alors interpoler linéairement les résultats. À partir de la distance de dégagement, l'utilisateur détermine les temps de passage dans les deux directions du passage à niveau; ensuite, avec ces temps de passage et la vitesse maximale des trains, il lui est possible de déterminer les distances de visibilité le long des voies dans chacune des deux directions de la route. Des exemples d'utilisation sont présentés à la section 4.4.

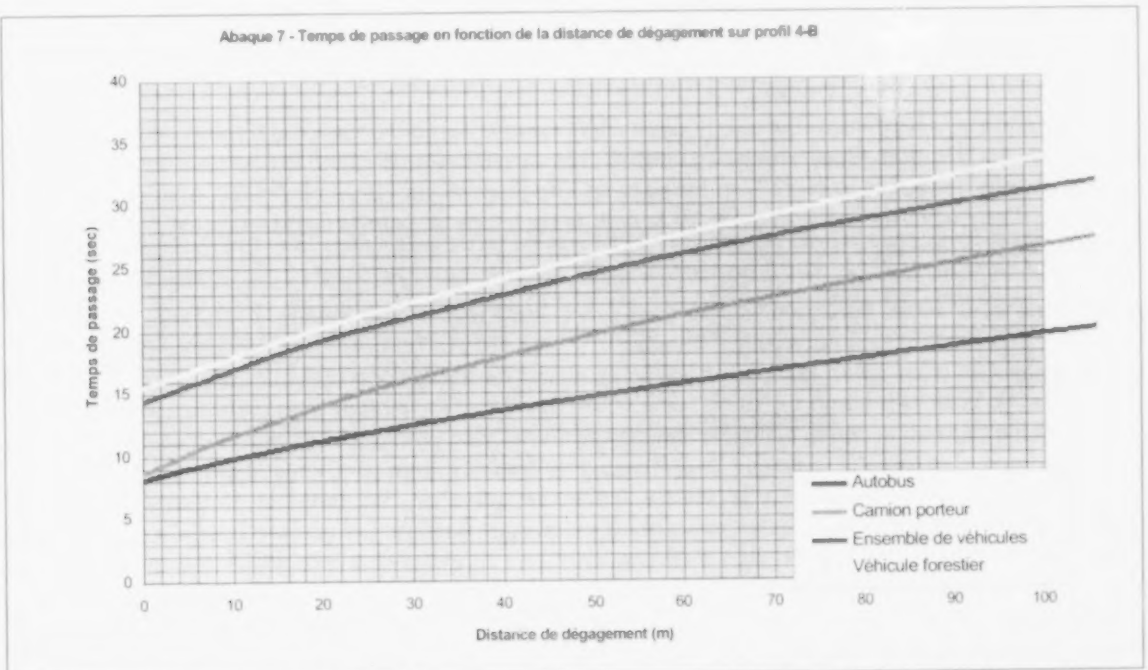


Figure 20 – Exemples d'abaque du temps de passage en fonction de la distance de dégagement et du véhicule type

Tableau 24 – Conditions spéciales d'utilisation des abaques

Condition spéciale	Effet sur le temps de passage
Véhicules lourds de type citerne	Multiplier par un facteur de 1,2
Proximité d'une intersection	Ajouter 1,5 seconde au temps de passage
Interdiction provinciale de changer de vitesse en passant au-dessus des rails	Utiliser l'abaque sans changement de vitesse
Surface de passage en très mauvais état	Utiliser l'abaque sans changement de vitesse

4.3 Détermination des distances de visibilité d'arrêt

Les résultats des essais de freinage servent à déterminer l'efficacité de freinage sur chaussée mouillée devant être utilisée lors du calcul des distances de visibilité d'arrêt. Il s'agit donc d'identifier les performances typiques de freinage d'un véhicule lourd. Pour ce faire, nous avons calculé les taux de décélération obtenus lors des essais de freinage pour les six véhicules lourds mis à l'essai (voir section 2.3, figure 16). Le résultat de ces calculs est présenté dans le tableau 25. On note que les décélérations y varient de 0,277 g à 0,478 g.

Tableau 25 – Décélérations obtenues lors des essais de freinage

Véhicule d'essai	Décélérations obtenues lors des essais de freinage
Camion porteur à 2 essieux	0,342 g
Camion porteur à 3 essieux	0,308 g
Citerne-train routier de type B	0,277 g
Semi-remorque à 6 essieux	0,436 g
Semi-remorque à 3 essieux	0,478 g
Semi-remorque à 5 essieux de type citerne	0,299 g

Il nous a été impossible d'identifier une relation claire entre le nombre d'essieux, le poids des véhicules et leur taux de décélération. Nous avons donc utilisé comme référence de calcul le pire taux de décélération obtenu au cours des essais, soit 0,277 g. De plus, tel que proposé par Harwood (1990), nous avons utilisé un facteur d'efficacité du conducteur de 70 p. cent et un temps de perception/réaction du conducteur de 2,5 secondes (voir section 1.4.2).

Par ailleurs, nous avons également utilisé dans nos calculs une vitesse initiale de freinage de 10 km/h supérieure à la limite légale de la route, de manière à bien refléter les conditions réelles de circulation de ces véhicules. En effet, selon nous, la méthode de calcul du triangle de visibilité doit tenir compte des conducteurs de véhicules lourds circulant à une vitesse qui dévie de la limite légale affichée. Par exemple, si un véhicule dépasse la limite affichée, son conducteur n'aura probablement pas la distance suffisante disponible pour s'arrêter s'il remarque la présence d'un train. D'autre part, dans le cas où le véhicule se déplace à une vitesse inférieure à la vitesse limite, ce qui n'est pas rare car un grand nombre de conducteurs ont tendance à ralentir à l'approche d'un passage à niveau, et que son conducteur n'observe aucun train à l'approche d'un passage à niveau, il y aura quand même une possibilité qu'un train se présente au passage à niveau avant le véhicule routier. Pour régler ce problème, il faut donc utiliser un facteur de sécurité. Ainsi, nous proposons que la distance de freinage soit calculée pour une vitesse de 10 km/h supérieure à la limite de vitesse affichée et que le temps de passage à partir de cette distance soit calculé pour une vitesse de 10 km/h inférieure à la limite de vitesse.

En ce qui concerne le calcul des distances de visibilité d'arrêt, nous avons comparé nos résultats avec ceux proposés dans le projet de norme RTD 10 et ainsi que ceux inspirés de Harwood (1990). Tel qu'indiqué dans le tableau 26, l'ensemble de ces résultats est très similaire. On note, en particulier, que les distances de freinage obtenues à partir des données de Harwood sont les plus conservatrices. Les résultats de Harwood sont tirés d'essais de freinage effectués par deux organismes soit le University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) et le National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). Les distances de visibilité de freinage qui y sont associées sont obtenues en utilisant les taux de décélération liés aux performances des meilleurs conducteurs («best performance driver», voir tableau 19 de la section 1.4.2) qui sont multipliés par 70 p. cent pour tenir compte du facteur d'efficacité du conducteur, et en tenant compte du temps de perception/réaction du conducteur de 2,5 secondes. Les résultats tirés de Harwood étant les plus conservateurs, nous les utiliserons dans l'élaboration de l'outil de conception des passages à niveau. Les distances de visibilité d'arrêt ainsi obtenues sont représentatives de la grande majorité des conducteurs de poids lourds et tiennent également compte de l'état mécanique du système de freinage, qui n'est pas toujours excellent, de la majorité des véhicules lourds.

Tableau 26 – Comparaison des distances de visibilité d'arrêt selon Harwood (1990), RTD 10 et nos résultats d'essais

Limite de vitesse (km/h)	Distances de visibilité (m)		
	Harwood x 70 %	RTD 10	Nos résultats x 70 %
20	39	xxx	39
30	60	xxx	60
40	85	70	85
50	119	110	115
60	154	130	148
70	199	180	185
80	245	210	227
90	294	265	272
100	348	330	322

La deuxième partie de l'outil prend donc la forme des tableaux 27 et 28, qui permettent de déterminer les distances de visibilité de freinage en fonction de la limite de vitesse légale de la route et de son profil, ainsi que de la présence de frein anti-blocage (ABS) sur les véhicules utilisant la traversée. En effet, l'utilisation des distances de freinage obtenues par Harwood (1990) avec des véhicules équipés de freins ABS nous a permis d'établir un tableau spécifique qui pourra être utilisé, pour la conception ou la vérification des passages à niveau, lorsque tous les véhicules commerciaux seront équipés de systèmes ABS. Des exemples d'utilisation de l'outil sont présentés à la section suivante.

Tableau 27 – Distances de visibilité d'arrêt en fonction de la limite de vitesse de la route pour véhicules lourds dotés de freins conventionnels

Système de freinage conventionnel (70 % d'efficacité)						
Limite de vitesse (km/h)	Coefficient de frottement (g)	Distance de visibilité de freinage (m)				
		5 %	2 %	Plat	-2 %	-5 %
20	0,196 x (0,28 x 70 %)	35	37	39	41	43
30	0,196 x (0,28 x 70 %)	53	57	60	64	71
40	0,196 x (0,28 x 70 %)	75	80	85	91	102
50	0,182 x (0,26 x 70 %)	103	112	119	129	149
60	0,182 x (0,26 x 70 %)	132	144	154	168	195
70	0,175 x (0,25 x 70 %)	167	185	199	218	257
80	0,175 x (0,25 x 70 %)	204	226	245	268	317
90	0,175 x (0,25 x 70 %)	244	271	294	323	384
100	0,175 x (0,25 x 70 %)	288	320	348	383	457

Tableau 28 – Distances de visibilité d'arrêt en fonction de la limite de vitesse de la route pour véhicules lourds dotés de freins ABS

Système de freinage ABS						
Limite de vitesse (km/h)	Coefficient de frottement (g)	Distance de visibilité de freinage (m)				
		5 %	2 %	Plat	-2 %	-5 %
20	0,36	29	30	31	31	32
30	0,36	43	44	45	46	48
40	0,36	59	61	62	64	66
50	0,34	78	81	83	86	90
60	0,34	98	102	105	109	115
70	0,31	125	132	137	142	152
80	0,31	151	159	165	172	185
90	0,31	179	189	196	205	221
100	0,31	209	221	230	240	259

4.4 Exemples d'utilisation de l'outil

De manière à bien illustrer les méthodes d'utilisation de l'outil proposé, deux exemples de passages à niveau dont on veut vérifier les triangles de visibilité ainsi que les délais d'avertissement et de descente des barrières (s'il s'agit d'un passage à niveau actif) sont présentés dans cette section.

Le premier croisement analysé est un passage à niveau passif où la route est orientée nord-sud et la voie ferrée simple est à angle par rapport à la route. En direction nord, l'approche de la traversée est en montée selon un angle de 3 p. cent, alors que de l'autre côté, la chaussée ne présente aucune inclinaison. Il n'y a pas de panneaux d'arrêt obligatoire à ce passage à niveau et la limite de vitesse affichée est de 90 km/h. La distance de franchissement du passage est de 19 m en direction nord et de 17,5 m en direction sud. La surface de passage n'est toutefois pas en bon état. Par ailleurs, il s'agit d'un croisement où de nombreux tracteurs semi-remorques citernes transportant des marchandises dangereuses circulent à chaque jour.

Le deuxième croisement analysé est un passage à niveau actif doté de feux clignotants et de barrières où la route est orientée est-ouest. Les deux voies ferrées du croisement sont perpendiculaires à la route. L'approche de la traversée en direction ouest est en descente selon un angle de 1 p. cent, alors que de l'autre côté l'approche de la traversée est en montée à 4,5 p. cent. La limite de vitesse affichée est de 50 km/h et la réglementation provinciale permet les changements de vitesse lors de la traversée d'un passage à niveau. De plus, en directions est et ouest, les distances de franchissement sont les mêmes à 23 m. La surface de passage est en bon état. Le croisement se trouve en milieu urbain et il est principalement utilisé par des camions porteurs affectés au transport de marchandises générales.

4.4.1 Calcul du triangle de visibilité à l'arrêt

En premier lieu, le triangle de visibilité à l'arrêt est calculé pour le premier passage à niveau passif. On utilise donc les abaques sans changement de vitesse, car la surface de passage est en mauvais état, ainsi que le véhicule type «ensemble de véhicules». En direction nord, on utilise les profils 4B (2 %) et 4A (5 %). Les abaques 7 et 6 de l'annexe A qui y correspondent donnent à 19 m des temps de passage respectifs de 19,5 secondes et 21 secondes. La pente d'approche étant de 3 %, on fait alors une interpolation pour obtenir le temps correspondant à l'inclinaison de la route, soit :

$$\frac{x - 19{,}5}{21{,}0 - 19{,}5} = \frac{3\% - 2\%}{5\% - 2\%}$$

$$x = 20{,}0 \text{ secondes}$$

Il faut ensuite multiplier ce temps par 1,2 pour tenir compte du passage de véhicules de type citerne. Le temps de passage en direction nord est donc de 24,0 secondes.

Le même processus doit être fait pour calculer le temps de passage en direction sud. Les profils 5B (2 %) et 5A (5 %) sont alors utilisés. Les abaques 12 et 13 de l'Annexe A qui y correspondent donnent à 17,5 m des temps de passage identiques de 18,0 secondes. Il n'est donc pas ici nécessaire de faire une interpolation pour obtenir le temps correspondant à l'inclinaison de la route de 3 %. Comme pour l'autre direction, il faut ensuite multiplier le temps de passage par 1,2 pour tenir compte du passage de véhicules de type citerne. Le temps de passage en direction sud sera donc de 21,6 secondes.

Finalement, à partir de ces deux temps de passage et de la vitesse maximale des trains circulant sur la voie ferrée, on calcule les distances de visibilité le long des voies ($D_{arrêt}$) dans chaque direction de la route. Les triangles de visibilité à l'arrêt sont ainsi obtenus.

En deuxième lieu, les temps de passage à partir de l'arrêt sont calculés pour le passage à niveau de type actif. En effet, nous aurons besoin de ces résultats lors du calcul du délai d'avertissement de ce passage à niveau. On utilise donc les abaques avec changement de vitesse, car la surface de passage est en bon état et la réglementation provinciale permet les changements de vitesse. Le véhicule type est un «camion porteur». En direction ouest, on utilise les profils 3B (2 %) et 3A (5 %). Les abaques 13 et 5 de l'Annexe A qui y correspondent donnent à 23 m des temps de passage respectifs de 14,0 secondes et de 13,5 secondes. Le profil de la route étant un mélange des deux profils types 3B et 3A, on doit ici décider d'utiliser le temps le plus conservateur et aucune interpolation n'est nécessaire. Le temps de passage en direction ouest est donc de 14,0 secondes.

Le même processus est fait pour calculer le temps de passage en direction est. Les profils 2B (2 %) et 2A (5 %) sont alors utilisés. Les abaques 4 et 3 donnent alors à 23 m des temps de passage de 15,0 secondes et 16,0 secondes. Il n'est pas ici non plus nécessaire de faire une interpolation pour obtenir le temps

correspondant. On utilise plutôt le temps le plus conservateur, et ce pour les mêmes raisons que précédemment en direction ouest. Le temps de passage en direction est sera donc de 16,0 secondes.

4.4.2 Calcul du triangle de visibilité à l'approche

Le triangle de visibilité à l'approche est calculé pour les deux exemples de croisement. En effet, le premier est un passage à niveau passif qui n'est pas doté de panneaux d'arrêt obligatoire et il doit donc être analysé. Il en est de même pour le deuxième croisement qui est de type actif et auquel s'ajouteront les calculs des délais d'avertissement et de descente des barrières présentés dans les deux prochaines sections. Comme les dispositifs de freinage ABS ne sont pas encore complètement intégrés à l'ensemble des véhicules lourds circulant sur nos routes, les données du tableau 27 de la section 4.3 seront exclusivement utilisées.

Pour le premier croisement de type passif, la distance de visibilité d'arrêt en direction nord est obtenue du tableau 27. À 90 km/h et selon des pentes d'approche de 2 % et 5 %, des distances de 271 m et 244 m sont obtenues. Il faut donc interpoler ces résultats comme suit pour une pente de 3 % :

$$\frac{x - 244}{271 - 244} = \frac{3\% - 2\%}{5\% - 2\%}$$

$$x = 253 \text{ mètres}$$

La distance de visibilité d'arrêt (SSD) du premier croisement en direction nord est donc de 253 m. Le temps de passage à partir de la distance de visibilité d'arrêt (T_{SSD}) est ensuite calculé comme suit :

$$T_{SSD}\,(\text{sec}) = \left[\text{SSD} + \text{Dist. Dégagement} + \text{Longueur véh. (m)}\right] / \frac{\left[\text{VLIMITE (km/h)} - 10\text{ km/h}\right]}{3{,}6\text{ s x km/h x m}}$$

$$T_{SSD}\,(\text{nord}) = (253 + 19 + 25) / (90 - 10)/3{,}6 = 13{,}4 \text{ secondes}$$

Toujours pour le premier croisement de type passif, la distance de visibilité de freinage en direction sud obtenue du tableau 27 est à 90 km/h et selon une surface d'approche plane une distance de 294 m. La distance de visibilité d'arrêt (SSD) en direction sud est donc de 294 m. Le temps de passage à partir de la distance de visibilité d'arrêt (T_{SSD}) est donc :

$$T_{SSD}\,(\text{sud}) = (294 + 17{,}5 + 25) / (90 - 10)/3{,}6 = 15{,}1 \text{ secondes}$$

La distance de visibilité de passage (D_{SSD}) définie dans le projet RDT 10 comme étant la distance minimale le long de la voie ferrée à partir de laquelle un conducteur doit apercevoir un train approchant de la distance d'arrêt de sécurité) dans chaque direction est ensuite obtenue en multipliant T_{SSD}(nord) et T_{SSD}(sud) par la vitesse maximale des trains circulant sur la voie ferrée. Les triangles de visibilité à l'approche du premier croisement sont donc ainsi bien identifiés.

Pour le deuxième croisement de type actif, la distance de visibilité de freinage en direction ouest obtenue du tableau 27 est, à 50 km/h et selon des pentes d'approche sur le plat et de 2 %, de 119 m et 129 m. Il faut donc interpoler ces valeurs pour une pente de 1 %, soit :

$$\frac{x - 119}{129 - 119} = \frac{2\% - 1\%}{2\% - 0\%}$$

$$x = 124 \text{ mètres}$$

La distance de visibilité d'arrêt SSD du deuxième croisement en direction ouest est donc de 124 m. Le temps de passage à partir de la distance de visibilité d'arrêt (T_{SSD}) est ensuite calculé comme suit :

$$T_{SSD}(\text{ouest}) = (124 + 23 + 12{,}5) / (50 - 10)/3{,}6 = 14{,}4 \text{ secondes}$$

La distance de visibilité d'arrêt en direction est, selon le tableau 27 à 50 km/h et selon une surface d'approche en pente descendante de 2 % et 5 %, est respectivement de 129 m et 149 m. Il faut donc interpoler ces valeurs pour une pente de 4,5 %, soit :

$$\frac{149 - x}{149 - 129} = \frac{5\% - 4{,}5\%}{5\% - 2\%}$$

$$x = 145{,}7 \text{ mètres}$$

La distance de visibilité d'arrêt SSD en direction est sera donc de 145,7 m. Le temps de passage à partir de la distance de visibilité d'arrêt (T_{SSD}) est donc :

$$T_{SSD}(\text{est}) = (145{,}7 + 23 + 12{,}5) / (50 - 10)/3{,}6 = 16{,}3 \text{ secondes}$$

La distance de visibilité de passage (D_{SSD}) dans chaque direction est ensuite obtenue en multipliant T_{SSD}(ouest) et T_{SSD}(est) par la vitesse maximale des trains circulant sur les deux voies ferrées. Les triangles de visibilité en approche du deuxième croisement sont donc alors également bien identifiés.

4.4.3 Calcul du délai d'avertissement pour passages à niveau actifs

Notons que le délai d'avertissement pour les passages à niveau actifs, dotés de feux clignotants et de barrières ainsi que d'alarmes sonores doit être, suivant la recommandation du projet de norme RTD 10, la plus grande des valeurs suivantes : 20 secondes, le temps de franchissement à partir de l'arrêt dans les deux directions de la route (obtenus des abaques), ou encore le temps de passage à partir de la distance de visibilité de freinage (obtenue des tableaux de distance de visibilité de freinage).

Dans le cas du deuxième croisement de type actif, le délai d'avertissement sera donc de 20 secondes, cette valeur étant respectivement supérieure aux 14,0 secondes et 16,0 secondes de temps de passage à partir de l'arrêt dans les deux directions de la route calculés à la section 4.4.1, ainsi qu'aux temps de passage à partir de SSD de 14,4 secondes et 16,3 secondes calculés à la section 4.4.2.

4.4.4 Calcul du délai de descente des barrières

Par ailleurs, l'article 4.9 du projet RTD 10 stipule la méthode à utiliser pour déterminer le délai de descente des barrières selon deux scénarios distincts, soit de la position d'arrêt et depuis la distance de visibilité d'arrêt (SSD). Dans le premier cas, il s'agit d'utiliser le temps de passage de l'abaque correspondant à la position 2 m (le véhicule a alors franchi sa propre longueur plus 2 m), et dans le deuxième cas, il faut ajouter 2 m et la longueur du véhicule à la distance SSD. Le temps de passage d'un véhicule sur cette distance à la vitesse légale moins 10 km/h constitue alors le temps de référence.

Pour le deuxième croisement de type actif, la première méthode permet d'obtenir des temps de 9,0 secondes en direction ouest selon l'abaque 13 et de 10,0 secondes en direction est selon l'abaque 7. Pour ce qui est de la deuxième méthode, on obtient alors :

$$T(\text{ouest}) = (124 + 12{,}5 + 2) / (50 - 10)/3{,}6 = 12{,}5 \text{ secondes}$$

$$T(\text{est}) = (145{,}7 + 12{,}5 + 2) / (50 - 10)/3{,}6 = 14{,}4 \text{ secondes}$$

Les temps les plus longs obtenus dans chaque direction sont alors utilisés comme référence.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

En se basant sur des hypothèses conservatrices, le modèle mathématique de l'accélération ainsi que les résultats des essais d'accélération et de freinage ont permis d'élaborer un outil de conception et de vérification des passages à niveau qui permettra d'assurer la sécurité des véhicules lourds qui les franchissent. La première partie de l'outil est constituée d'abaques des temps de franchissement qui dépendent du profil de la route, du véhicule type choisi, de la distance de dégagement du passage à niveau, ainsi que de l'état de la route ou de l'interdiction de changer de vitesse. Des méthodes d'utilisation des abaques sont également proposées pour les véhicules de type citernes, pour les passages à niveau offrant une intersection routière à proximité ainsi que pour les passages à niveau dont la surface de passage est en mauvais état. La deuxième partie de l'outil se présente sous forme de tableaux donnant les distances de visibilité de freinage, pour véhicules dotés ou non de freins ABS, en fonction du profil de la route et de la limite de vitesse légale. Ces outils permettent donc d'établir les triangles de visibilité des passages à niveau adaptés aux véhicules commerciaux de tous poids et de toutes dimensions et à toutes les caractéristiques opérationnelles, conditions routières, vitesses de camions et de trains, et sous des conditions météorologiques normales. De plus, les résultats permettent également le calcul du délai d'avertissement et du délai de descente des barrières pour les passages à niveau actifs. L'outil adapté s'intègre donc très bien au projet de norme RTD 10 actuellement proposé.

Par ailleurs, suite à nos travaux, les quatre recommandations suivantes doivent être spécifiées :

1. **Intégrer l'outil au projet de norme RTD 10, ce qui permettra de tenir compte des résultats de la présente étude et en retirera les anomalies ou le manque de clarté des calculs que nous y avons noté.**

2. **Uniformiser le plus possible les unités de mesures utilisées dans le projet de norme RTD 10 de manière à éviter toute confusion lors des calculs de conception et de vérification.**

3. **Les temps de passage de référence fixes mentionnés dans le projet de norme RTD 10 devraient en être retirés complètement.**

En effet, les résultats obtenus montrent que le temps de passage utilisé jusqu'à présent pour la conception des passages à niveau n'est généralement pas justifié car étant souvent trop court. Par exemple, le délai d'avertissement de 20 secondes présentement utilisé aux passages à niveau actifs pour le déclenchement des feux ou des barrières n'est pas toujours suffisant. De même, la ligne de visibilité à l'arrêt mesurée le long des voies ferrées est basée sur un temps de passage minimal de 10 secondes, qui est souvent insuffisant pour les passages à niveau de plus d'une voie et pour les véhicules longs et lourds. En fait, l'utilisation de délais fixes n'est pas du tout recommandé. On devrait plutôt fortement insister pour que l'utilisateur emploie systématiquement pour chaque situation ou sites différents les chiffres obtenus à partir des abaques et des tableaux de l'outil.

4. **Les divers règlements portant sur l'interdiction pour les conducteurs de véhicules lourds de changer de vitesse lors du passage au-dessus de rails de chemin de fer devraient être abolis.**

L'interdiction de changer de vitesse lors de la traversée d'un passage à niveau, tel que prescrit par plusieurs juridictions provinciales, augmente les temps de traversée du passage à niveau. Bien que cette pratique ait été justifiée dans le passé par le manque de fiabilité des transmissions et des essieux et la possibilité de traverser plus rapidement les voies ferrées sans changer de vitesse, cela n'est plus le cas pour les véhicules actuels et il faudrait donc réexaminer cette pratique.

OUVRAGES CITÉS ET BIBLIOGRAPHIE

Études, articles, rapports de recherche et autres

1. CAIRD, J.K., CREASER, J.I., EDWARDS, C.J., DEWAR, R.E. *Une analyse des facteurs humains dans les accidents aux passages à niveau au Canada*, TP 13938F. 112 p. Laboratoire de recherche en ergonomie cognitive, Département de psychologie, Université de Calgary, septembre 2002.

2. CENTRE DE DÉVELOPPEMENT DES TRANSPORTS/DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SÉCURITÉ FERROVIAIRE. Atelier sur la recherche sur les passages à niveau, Ottawa, 18 novembre 1999. *Compte-rendu de l'Atelier sur la recherche sur les passages à niveau.* Transports Canada, Montréal, mars 2000, 161 p.

3. CENTRE DE DÉVELOPPEMENT DES TRANSPORTS/DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SÉCURITÉ FERROVIAIRE. Deuxième atelier sur la recherche sur les passages à niveau, Montréal, 15 novembre 2000. *Compte rendu du deuxième atelier sur la recherche sur les passages à niveau.* Transports Canada, Montréal, février 2001, 235 p.

4. COGHLAN, Mike. *Questions relatives à la sécurité aux passages à niveau soulevées par les études de l'accélération des autobus et des camions de TMD.* Note de service. Gouvernement du Canada, 3 juin 1997.

5. HARWOOD, Douglas W., GLAUZ, William D., MASON, John M. Jr. *Stopping Sight Distance Design for Large Trucks.* Transportation Research Record 1208, p. 36 à 45.

6. HARWOOD, Douglas W., GLAUZ, William D., MASON, John M. Jr. & al. *Truck Characteristics for Use in Highway Design and Operation.* Federal Highway Administration Research report, 1990.

7. JONES, Allen. *Impact des véhicules lourds sur la sécurité aux passages à niveau.* Devis du projet – Dossier R 452. 5 p. Service du transport ferroviaire – Ministère des Transports du Québec : 28 novembre 2001.

8. KENDALL, Kenneth, MORRISSETTE, Lise. *Truck acceleration study.* Final report, TP 12490E. Transport of Dangerous Goods Directorate, Transport Canada : mai 1995.

9. KNAPP, Keith K. *Literature Review of Highway-Railroad Grade Crossing Sight Distance Assumptions.* ITE Journal, novembre 1999, p. 32 à 37.

10. LEBEL, Luc, TREMBLAY, Pierre-Serge. *Les routes forestières : lien vital entre la ressource et les usines.* Routes et transports, hiver 2002, volume 31, numéro 1, p. 21 à 24.

11. MICHAELSEN, Jan. *Le camionnage hors normes en forêt.* Routes et transports, hiver 2002, volume 31, numéro 1, p. 32 à 37.

12. PELLETIER, Lyse. *La gestion de la sécurité routière pour le transport forestier : un capital à investir et à préserver.* Routes et transports, hiver 2002, volume 31, numéro 1, p. 25 à 31.

13. PETERS, George A., PETERS, Barbara J. *The Distracted Driver – How Dangerous is "Multitasking"?,* Professional Safety, mars 2002, p. 34-36.

14. READ, John A. *Safety at Passively Protected Rail-Highway Crossings.* Rapport présenté à la conférence : «Conference on Truck Safety : Perceptions and Reality», Toronto, 11 au 13 septembre 1995.

15. TARDIF, L-P, & ASSOCIATE INC., *Infractions aux passages à niveau et cotes de sécurité des transporteurs routiers,* TP 13792F, Centre de développement des transports, Transports Canada, mars 2001.

Lois, normes et règlements

16. *Guide canadien de conception géométrique des routes.* Association des transports du Canada, septembre 1999.

17. *Guide des normes de charges et dimensions des véhicules.* Ministère des Transports du Québec, édition 2000, p. 8 à 18.

18. Projet RTD 10 – Normes techniques et exigences concernant l'inspection, les essais et l'entretien des passages à niveau rail-route. Direction générale de la sécurité ferroviaire, Sécurité et sûreté, Transports Canada, 14 juin 2002 et versions précédentes.

19. *Règlement sur les passages à niveau.* 10000-32 (GC-1/GC-1). Proposition de réglementation faite par la gouverneure en conseil conformément à la Loi sur la sécurité ferroviaire, 13 juin 2002.

20. Règlement sur les passages à niveau au croisement d'un chemin de fer et d'une voie publique. Ordonnance générale de la Commission canadienne des transport n° E-4. Loi sur les chemins de fer, Loi nationale sur les transports, Transports Canada.

Règlements concernant l'arrêt obligatoire et l'interdiction de changer de vitesse

21. British Columbia Motor Vehicle Act, R.S.B.C. 1996, ch. 318

22. Alberta Highway Traffic Act, R.S.A. 1980, ch. H-7

23. *The School Bus Operating Regulations*, Saskatchewan 1987, ch. H-3.1 Reg. 5

24. Saskatchewan Highway Traffic Act, S.S. 1986, ch. H-3.1

25. Code de la route, Manitoba, L.M. 1986, c. 3 ch. H-60

26. Code de la route, Ontario, L.R.O. 1990, ch. H-8

27. Code de la sécurité routière du Québec, L.R.Q. 2003, ch. C-24.2

28. Loi sur les véhicules à moteur, Nouveau-Brunswick, L.R.N.-B. 1986, ch. M-17

29. Newfoundland & Labrador Highway Traffic Act, R.S.N.L. 1990, ch. H-3

30. Yukon Motor Vehicles Act, R.S.Y. 1986, ch. 11

31. North-West Territories Motor Vehicles Act, L.R.T.N.-O. 1988, ch. 106

Rapports d'accident du Bureau de la sécurité dans les transports

32. *Rapport R94C0035*. Rapport d'accident, Bureau de la sécurité dans les transports, publication autorisée le 21 septembre 1995.

33. *Rapport R94D0191*. Rapport d'accident, Bureau de la sécurité dans les transports, publication autorisée le 16 décembre 1997.

34. *Rapport R94M0100*. Rapport d'accident, Bureau de la sécurité dans les transports, publication autorisée le 13 décembre 1996.

35. *Rapport R94V0206*. Rapport d'accident, Bureau de la sécurité dans les transports, publication autorisée le 30 avril 1996.

36. *Rapport R95D0081*. Rapport d'accident, Bureau de la sécurité dans les transports, publication autorisée le 12 décembre 1996.

37. *Rapport R99H0009*. Rapport d'accident, Bureau de la sécurité dans les transports, publication autorisée le 16 janvier 2002.

38. *Rapport R99T0298*. Rapport d'accident, Bureau de la sécurité dans les transports, publication autorisée le 11 septembre 2001.

39. *Rapport R00C0159*. Rapport d'accident, Bureau de la sécurité dans les transports, publication autorisée le 4 février 2002.

Sites Internet

40. Direction 2006 – www.direction2006.com/french/intro.htm

41. Federal Highway Administration – Grade crossing handbook – www.fhwa.dot.gov/tfhrc/safety/pubs/86215/86215.pdf

42. Federal Railroad Administration – www.fra.dot.gov

43. Ministère des Transports du Québec – www.mtq.gouv.qc.ca/index.asp

44. Opération Gareautrain – www.ol-og-canada.org/docs/francais/princ/home2.html

45. Transports Canada – www.tc.gc.ca/fr/menu.htm

46. Société de l'assurance automobile du Québec – www.saaq.gouv.qc.ca/

47. Bureau de la sécurité dans les transports – Rapports d'accidents – www.tsb.gc.ca/fr/index.asp

48. US Department of Transportation, 2001 *Green Book* – www.fhwa.dot.gov/programadmin/y2kgb3.htm

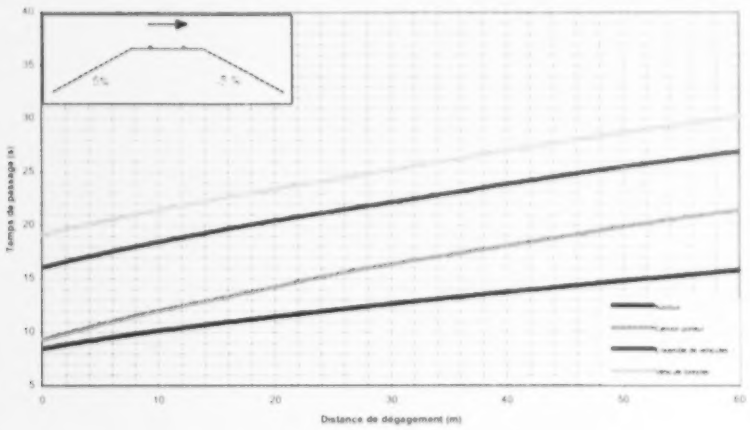
49. Volpe National Transportation System Center – www.volpe.dot.gov/

ANNEXE A

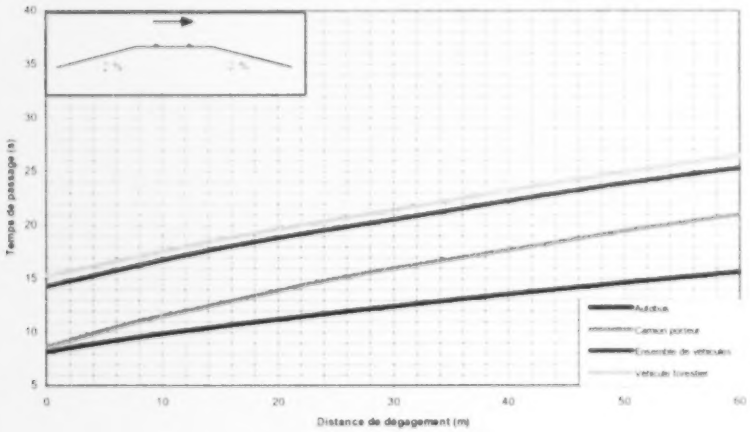
Abaques des temps de passage à partir de l'arrêt

Abaques # 1-17

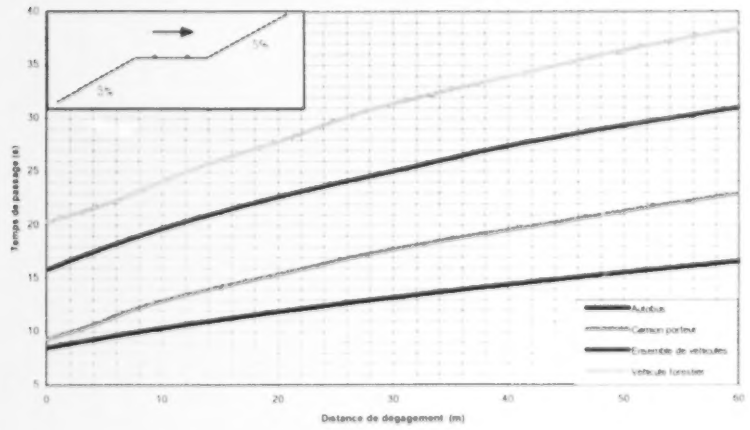
Abaque 1 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 1-A



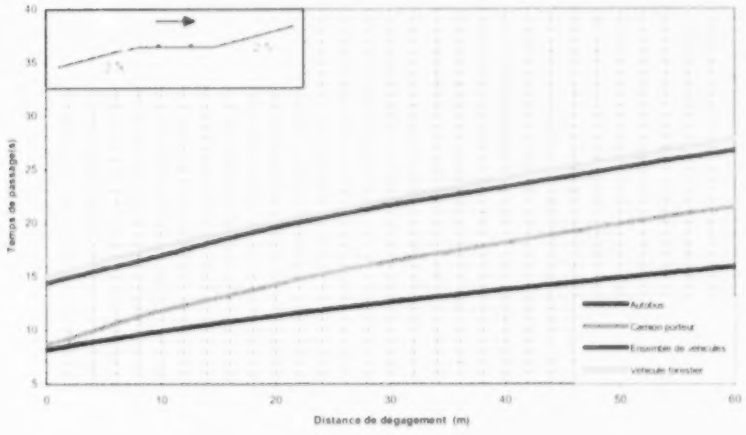
Abaque 2 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 1-B



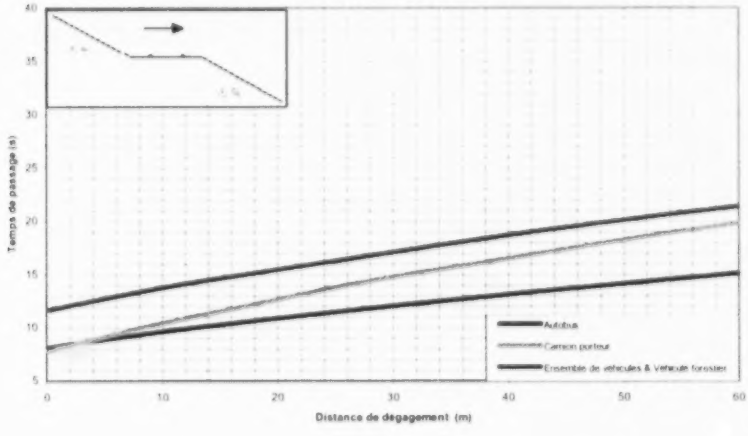
Abaque 3 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 2-A



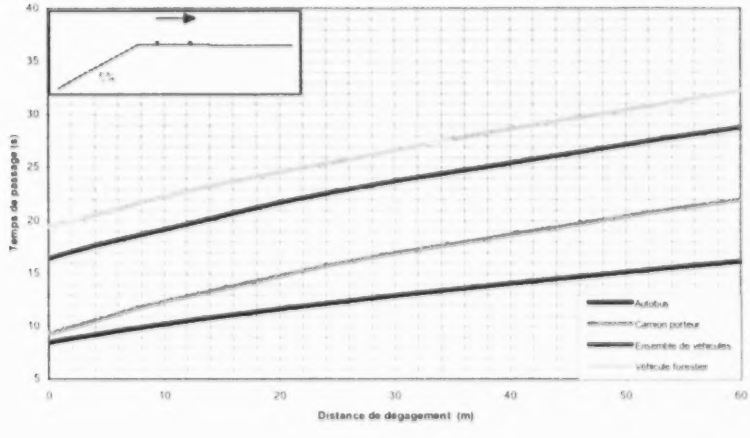
Abaque 4 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 2-B



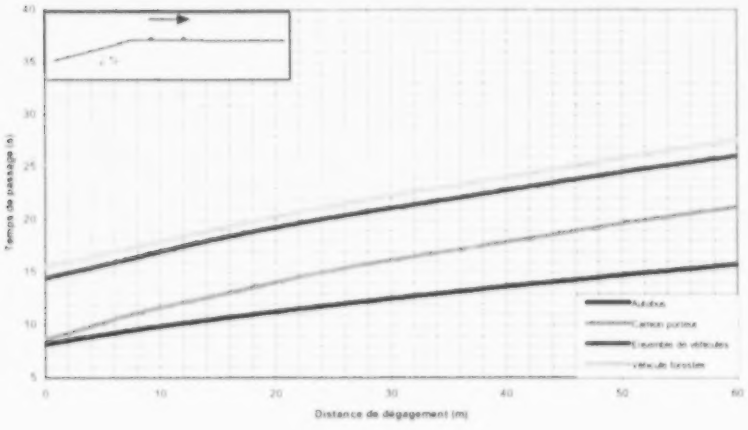
Abaque 5 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 3-A



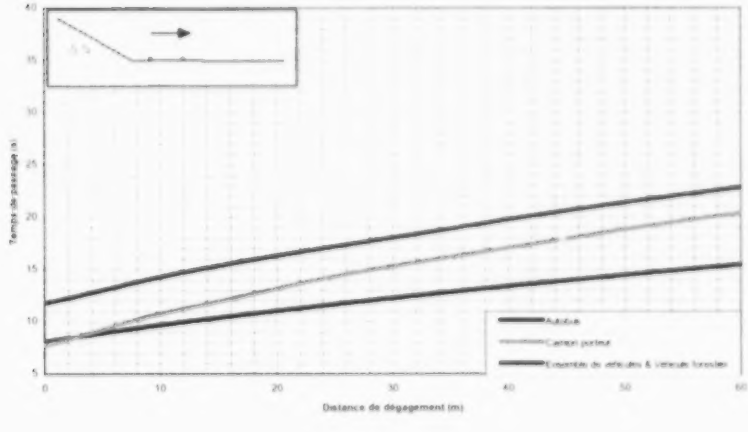
Abaque 6 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 4-A



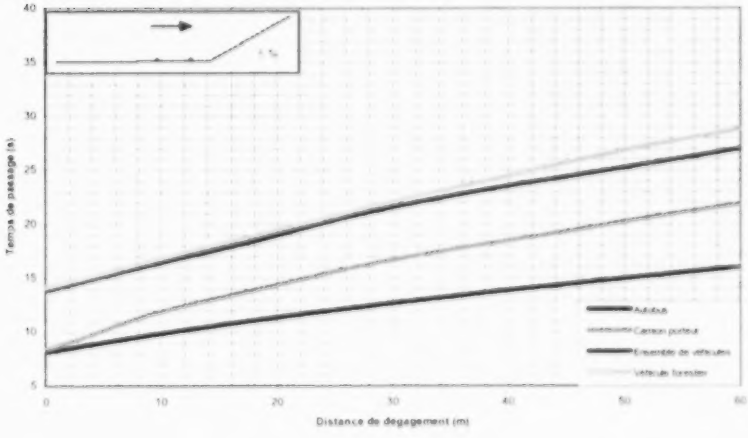
Abaque 7 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 4-B



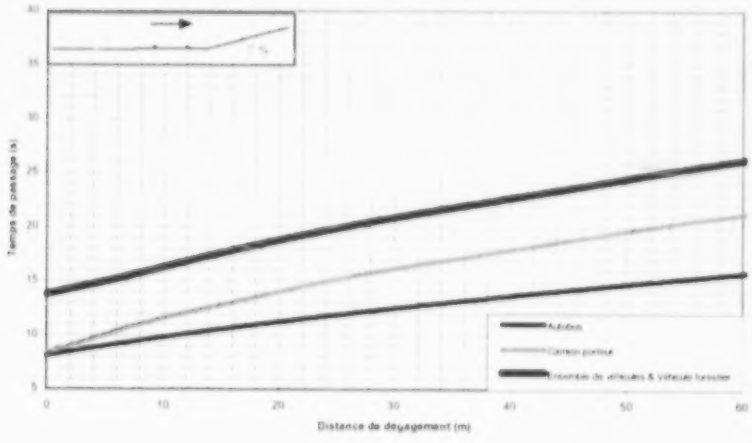
Abaque 8 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 6-A



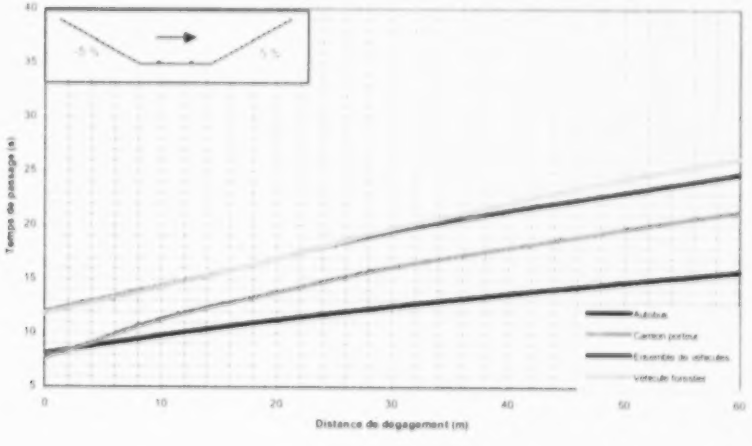
Abaque 9 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 7-A



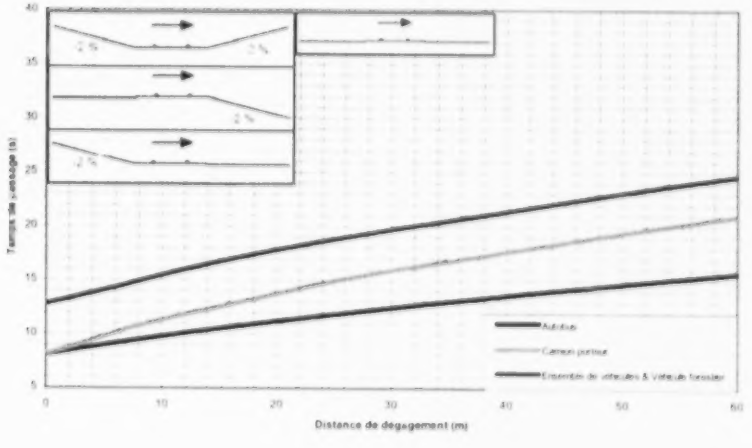
Abaque 10 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 7-B



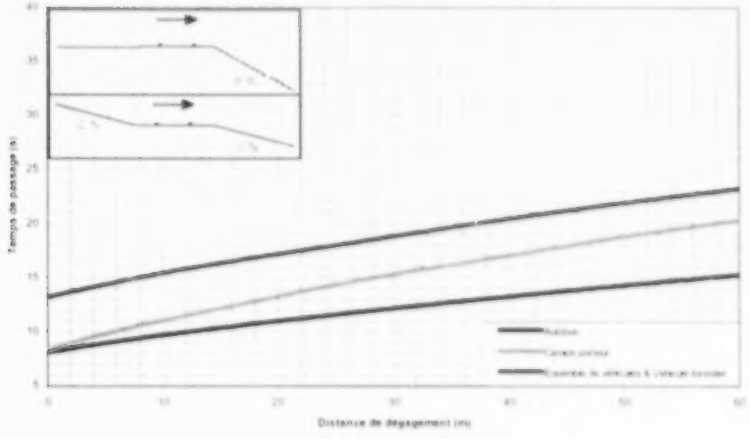
Abaque 11 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 8-A



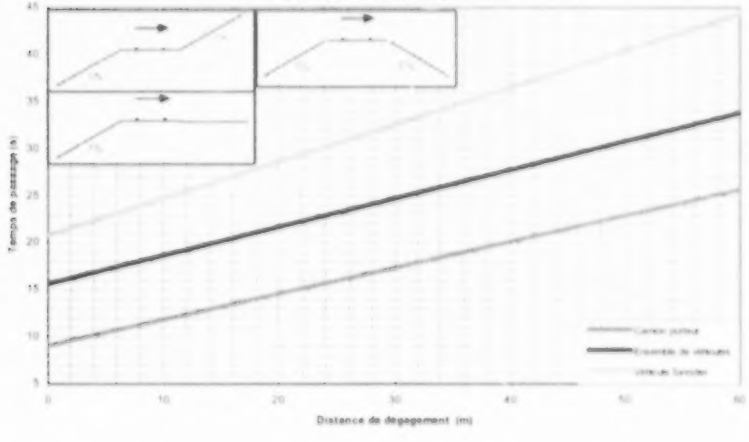
Abaque 12 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil plat, 5-B, 6-B et 8-B



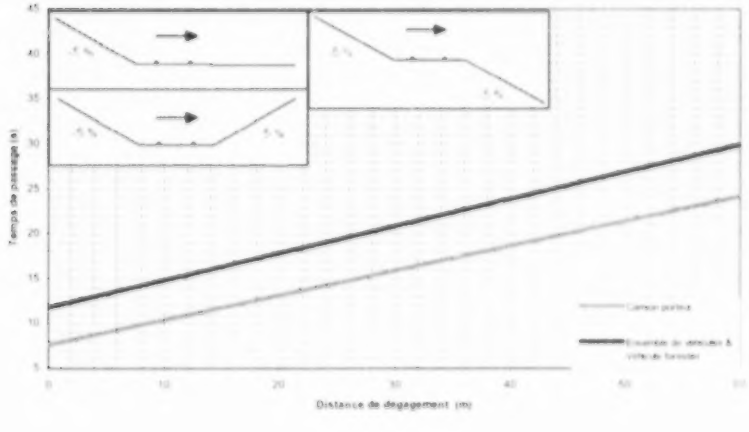
Abaque 13 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 3-B et 5-A



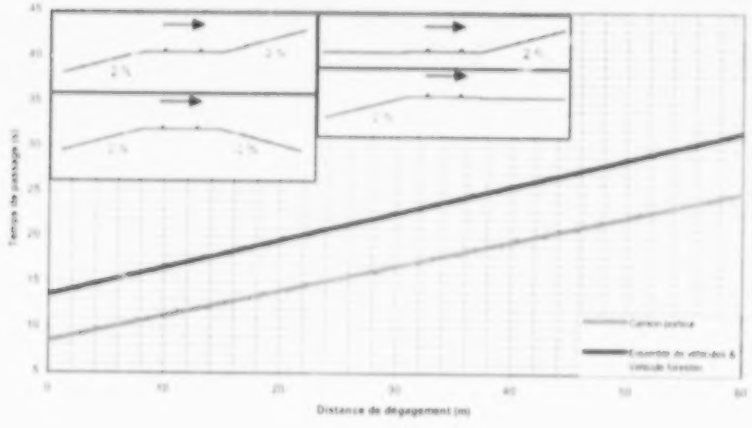
Abaque 14 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 1-A, 2-A et 4-A sans changement de rapport de transmission



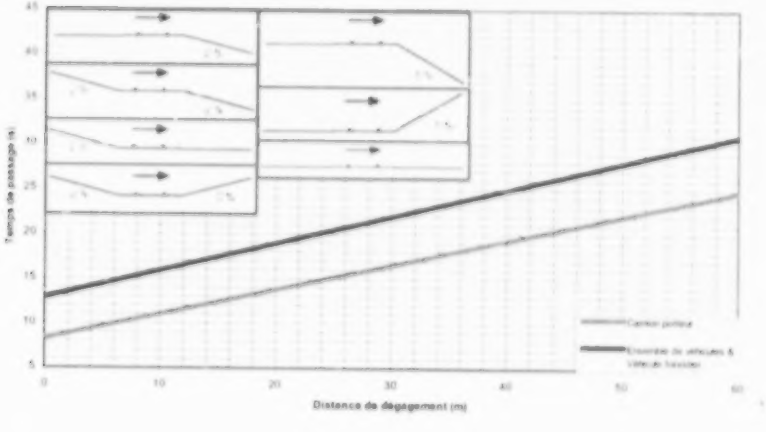
Abaque 15 - Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 3-A, 6-A et 8-A sans changement de rapport de transmission



Abaque 16 : Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil 1-B, 2-B, 4-B et 7-B sans changement de rapport de transmission



Abaque 17 : Temps de passage en fonction de la distance de dégagement sur profil plat, 3-B, 5A, 5-B, 6-B, 7A ET 8-B sans changement de rapport de transmission



ANNEXE B

Projet spécial

Franchissement des passages à niveau par des véhicules lourds à châssis surbaissés

Objectifs du projet :

- Étudier géométriquement les impacts des semi-remorques à châssis surbaissés (remorques «LOW-BOY») aux passages à niveau.
- Selon les normes actuellement en vigueur
- Selon le projet de norme RTD 10

Méthodologie :

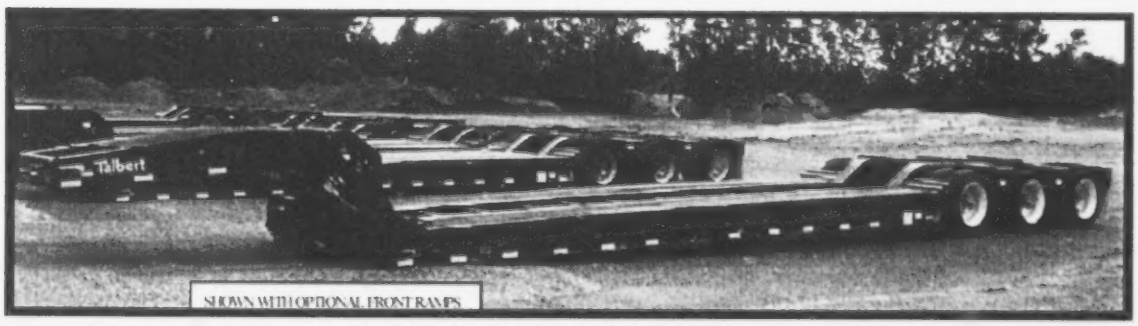
- Modélisation 2D du passage à niveau et de l'ensemble tracteur semi-remorque sur AutoCAD
- Utilisation des profils de passage les plus critiques permis pour chacune des réglementations (actuelle et RTD 10)
- Position critique de l'ensemble tracteur semi-remorque lorsque le centre de l'empattement de la remorque passe au point culminant du passage à niveau
- Identification du dégagement ou de l'interférence entre la semi-remorque et la chaussée

Hypothèses retenues :

- Semi-remorque chargée à pleine capacité
- Suspensions considérées rigides (distance constante entre le sol et le pivot d'attelage ainsi qu'entre l'essieu médian de la semi-remorque et son châssis)
- Articulation dans le plan vertical uniquement au niveau de la sellette d'attelage

Véhicule semi-remorque modélisé :

- Semi-remorque de type plate-forme surbaissée de marque Talbert, model 55SA
- Dégagement minimum de 6 pouces (15,2 cm) sur surface plane
- Châssis du véhicule représentatif des plus longues et basses disponibles sur le marché nord-américain actuellement



Semi-remorque Talbert 55SA

Scénario critique avec les normes actuelles :

- Pentes ascendante et descendante de 5 p. cent
- Voie ferrée non en dévers

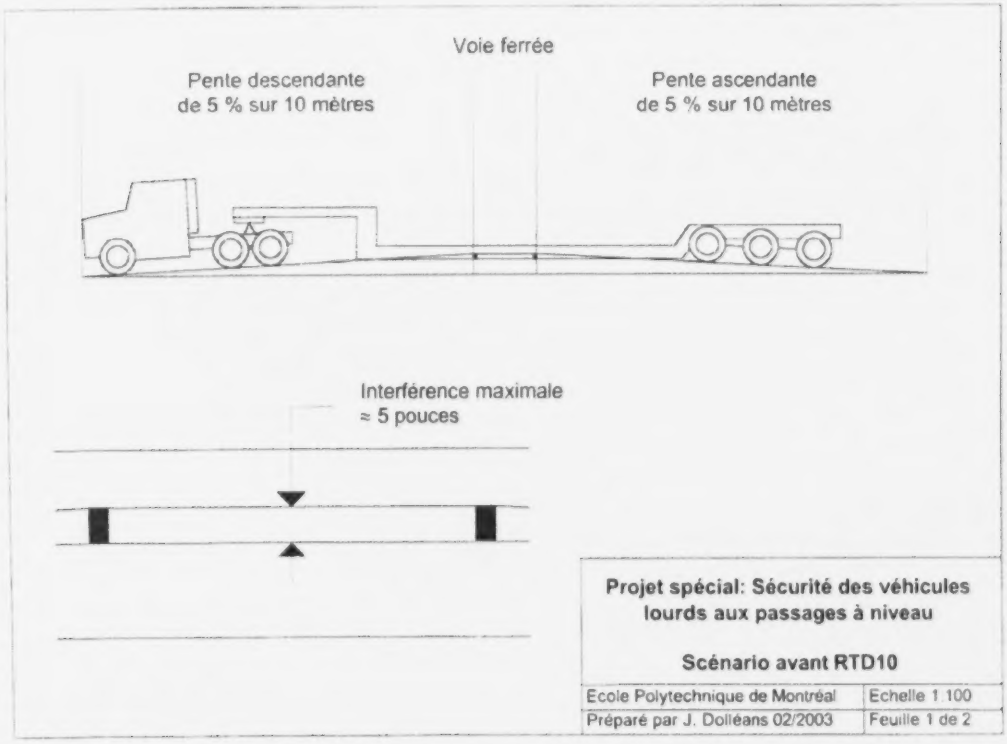


Diagramme de l'interférence entre le châssis surbaissé et les rails, selon le scénario critique avec les normes actuelles

On note donc qu'il y a un potentiel d'interférence verticale d'environ cinq pouces (12,7 cm) entre le châssis et les rails. Ceci explique pourquoi on observe parfois des incidents avec ce type de véhicule à certains passages à niveau plus à risque.

Scénario critique avec le projet RTD 10 :

- Déclivités de 2 p. cent dans un rayon de 8 m du rail le plus proche et de 5 p. cent sur les 10 m suivants
- Voie ferrée en dévers de 1 p. cent
- Rails surélevés d'un pouce pour simuler le mauvais état de la chaussée

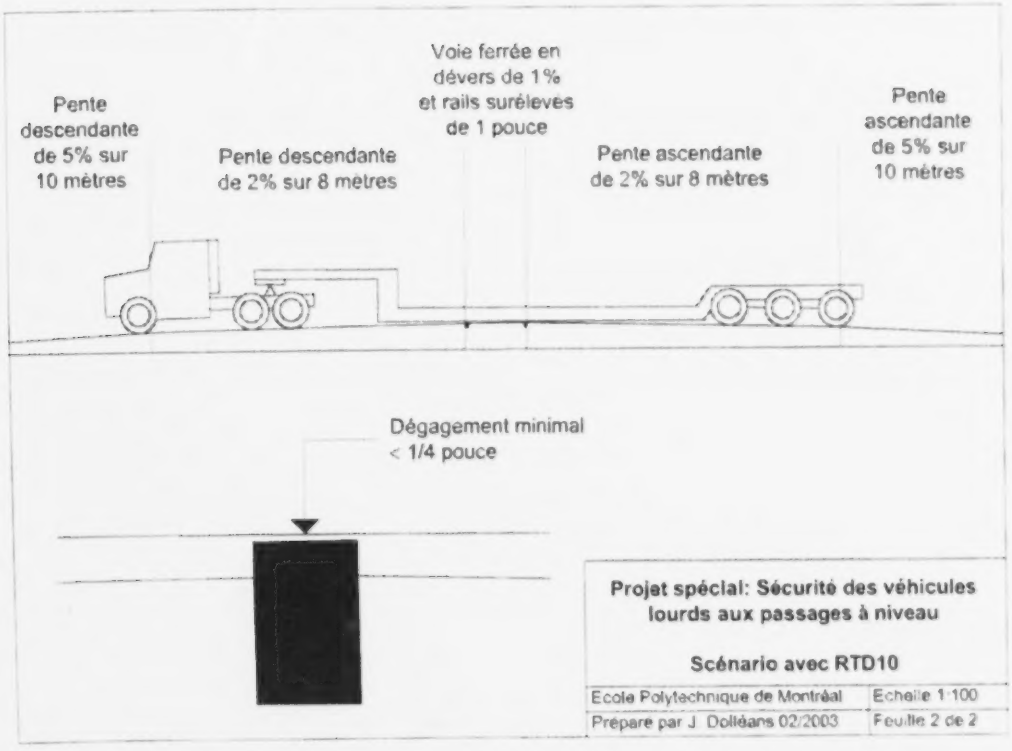


Diagramme de l'interférence entre le châssis surbaissé et les rails selon le scénario critique avec le projet RTD 10

On note donc qu'il y a alors un dégagement vertical potentiel de moins de ¼ de pouce (0,63 cm) entre le châssis et les rails, ce qui est probablement insuffisant.

Conclusions :

- Les normes actuelles sont clairement inadéquates en situation de passage d'un véhicule à châssis surbaissés sur un passage à niveau à risque. Il y a alors un potentiel d'interférence verticale entre le châssis et les rails, ce qui peut provoquer un placage du véhicule sur les rails ou encore des dommages au véhicule et aux rails.
- Le scénario critique avec les normes du projet RTD 10 offre un faible dégagement vertical. Toutefois, il y a quand même possibilité d'interférence lors de situations très particulières. Par exemple, s'il y a combinaison d'un mauvais état de la chaussée et d'un mauvais état mécanique des suspensions (affaissées) ou des pneus du véhicule (mal gonflés).
- Le projet RTD 10 permet d'améliorer grandement la problématique du passage de véhicule à châssis surbaissés aux passages à niveau.
- L'entretien des rails et de la route ainsi que le bon état mécanique des véhicules sont toutefois des conditions nécessaires à une traversée sécuritaire de ce type de véhicule, et ce même avec les modifications apportées avec l'élaboration du projet RTD 10.

ANNEXE C

Règlements des diverses provinces concernant l'arrêt obligatoire et l'interdiction de changer de vitesse aux passages à niveau

Colombie-Britannique

Motor Vehicle Act, R.S.B.C. 1996, ch. 318

[TRADUCTION]
Passage à niveau

185 (1) Un conducteur qui s'approche d'un passage à niveau au moment où :

(a) un dispositif de signalisation électrique ou mécanique nettement visible indique l'approche d'un train,
(b) une barrière est abaissée ou un signaleur indique l'approche ou le passage d'un train,
(c) un train se trouve à environ 500 mètres du passage à niveau et s'en approche, et émet un signal audible ou est visible, et ce train, en raison de sa vitesse ou de sa proximité, présente un danger imminent,

doit arrêter son véhicule à au moins 5 mètres et à au plus 15 mètres du premier rail, et ne doit remettre en marche le véhicule que s'il peut le faire en toute sécurité.

(2) Il est interdit de conduire un véhicule à travers ou au-dessous d'une barrière de passage à niveau, ou de la contourner, lorsque cette barrière est fermée ou lorsqu'elle est en train de s'ouvrir ou de se fermer.

(3) Si un panneau d'arrêt est érigé à un passage à niveau, le conducteur qui s'approche de celui-ci :

(a) doit arrêter son véhicule
  (i) à au moins 5 mètres et
  (ii) au plus 15 mètres du premier rail,
(b) et il ne doit remettre en marche son véhicule que s'il peut le faire en toute sécurité.

(4) Sauf à un passage à niveau d'embranchement ferroviaire ou de voie ferrée industrielle situé en zone commerciale ou résidentielle, tout conducteur

(a) d'un autobus transportant des passagers payants,
(b) d'un autobus scolaire transportant un ou des enfants,
(c) d'un véhicule transportant des substances explosives, toxiques ou inflammables,
(d) d'un véhicule servant à transporter des liquides ou des gaz inflammables, que ce véhicule soit chargé ou non,

qui s'approche d'un passage à niveau non protégé par des barrières ou des feux de signalisation de passage à niveau doit :

(e) arrêter son véhicule
  (i) à au moins 5 mètres et
  (ii) au plus 15 mètres du premier rail,

(f) s'immobiliser, regarder dans les deux directions de la voie ferrée pour voir si un train s'approche, et écouter s'il n'y a pas de signaux indiquant l'approche d'un train,

(g) et ne se remettre en marche que s'il peut le faire en toute sécurité, sauf si un signaleur lui indique de circuler.

(5) Lorsqu'un conducteur a immobilisé son véhicule conformément au présent article, il

(a) doit traverser le passage à niveau avec son véhicule embrayé de façon à ne pas avoir besoin de changer de vitesse pendant la traversée;

(b) ne doit pas changer de vitesse pendant la traversée;

(c) ne doit pas arrêter son véhicule lorsqu'une partie de celui-ci se trouve sur la voie ferrée ou au-dessus de celle-ci.

(6) Nonobstant la présente loi, le conducteur d'un véhicule qui s'approche d'une voie ferrée doit conduire prudemment de façon à éviter d'entrer en collision avec un train.

Alberta

Highway Traffic Act, R.S.A. 1980, ch. H-7

[TRADUCTION]
Passage à niveau

104 (1) Lorsque, à un passage à niveau :

(a) un dispositif de signalisation électrique ou mécanique nettement visible indique l'approche d'un train,
(b) une barrière est abaissée ou un signaleur indique l'approche ou le passage d'un train,
(c) un train se trouve à environ 500 mètres du passage à niveau et s'en approche, et émet un signal audible ou est visible,
(d) un train est visible et s'approche du passage à niveau et, en raison de sa vitesse ou de sa proximité, présente un danger imminent,

un conducteur de véhicule qui s'approche du passage à niveau :

(e) doit arrêter son véhicule à au moins 5 mètres du rail le plus proche,
(f) et ne doit pas repartir avant
(i) que le train ait complètement traversé le passage à niveau, ou
(ii) se soit complètement immobilisé,
et de pouvoir le faire en toute sécurité.

(2) Il est interdit de conduire un véhicule à travers ou au-dessous d'une barrière de passage à niveau, ou de la contourner, lorsque cette barrière est fermée ou lorsqu'elle est en train d'être ouverte ou fermée.

(3) Si un panneau d'arrêt est érigé à un passage à niveau, le conducteur qui s'approche de celui-ci

(a) doit arrêter son véhicule
(i) à au moins 5 mètres et
(ii) au plus 15 mètres
du rail le plus proche
(b) et ne doit remettre en marche son véhicule que s'il peut le faire en toute sécurité.

(4) Lorsque le passage à niveau n'est pas protégé par des feux de signalisation, le conducteur

(a) d'un autobus scolaire,
(b) d'un véhicule qui transporte des substances explosives,
(c) de tout véhicule qui sert à transporter des liquides ou gaz inflammables, que ce véhicule soit chargé ou non,

doit arrêter son véhicule à au moins 5 mètres ou à au plus 15 mètres du rail le plus proche, et

(d) à l'arrêt, il doit regarder dans les deux directions de la voie ferrée pour voir si un train ne s'approche pas et écouter s'il n'y a pas de signaux indiquant l'approche d'un train,

(e) il ne doit remettre en marche son véhicule que s'il peut le faire en toute sécurité,

(f) et dans le cas d'un autobus scolaire, il doit ouvrir la porte avant et, s'il peut le faire d'une main, ouvrir également la fenêtre la plus rapprochée à sa gauche.

(5) Le paragraphe (4) ne s'applique pas lorsqu'un agent de police ou un signaleur indique aux véhicules de circuler.

(6) Un conseil municipal peut, par arrêté, décider que le paragraphe (4) ne s'applique pas à l'un ou l'autre ou à l'ensemble des passages à niveau de son territoire.

(7) Lorsqu'un conducteur a arrêté son véhicule conformément au présent article :

(a) il doit traverser le passage à niveau avec son véhicule embrayé de façon à ne pas avoir besoin de changer de vitesse pendant la traversée et

(b) il ne doit pas changer de vitesse pendant la traversée.

Saskatchewan

The School Bus Operating Regulations, 1987, ch. H-3.1 Reg. 5

[TRADUCTION]

4. Tout conducteur d'autobus doit :

(e) lorsqu'il s'approche d'un passage à niveau non protégé,
(i) se ranger le plus loin possible sur la droite;
(ii) mettre en marche ses feux de détresse :
(A) à au moins 100 mètres du passage à niveau, lorsqu'il se trouve sur une route où la limite de vitesse est supérieure à 50 km/h;
(B) à au moins 25 mètres du passage à niveau, lorsqu'il se trouve sur une route où la limite de vitesse est d'au plus 50 km/h;
(iii) immobiliser l'autobus à au moins quatre et au plus 10 mètres du passage à niveau;
(iv) ouvrir la porte avant et regarder dans les deux directions;
(v) traverser le passage à niveau s'il peut le faire en toute sécurité et, si le véhicule est muni d'une transmission manuelle, demeurer en première vitesse tant que le véhicule n'a pas franchi toutes les voies ferrées;
(vi) retourner sur la voie de roulement lorsqu'il peut le faire en toute sécurité et éteindre ses feux de détresse;

Highway Traffic Act, S.S. 1986, ch. H-3.1

[TRADUCTION]
Arrêt

40. (5) Le conducteur :

(a) de tout autobus qui transporte des passagers;
(b) de tout véhicule qui transporte des marchandises en quantités telles qu'il doit porter une plaque conformément au Règlement pris en vertu de la *Loi sur le transport des marchandises dangereuses*;
(c) abrogée. 1989-90, c. 10, art. 9. (1989-90, c.10, s. 9)

doit arrêter son véhicule avant de s'engager dans un passage à niveau.

(6) Toute personne tenue d'arrêter son véhicule en vertu du paragraphe (4) ou (5) ne doit remettre son véhicule en marche que si elle peut le faire en toute sécurité.

(7) Le paragraphe (5) ne s'applique pas si le passage à niveau est équipé d'un signal automatique et que ce signal indique que le passage à niveau peut être traversé en toute sécurité.

Manitoba

Code de la route, L.M. 1986, c. 3 chap. H-60

135 (1) Arrêt de certains véhicules aux passages de voies ferrées

Sous réserve des paragraphes (3) et (4), le conducteur :

(a) de tout véhicule qui transporte à titre onéreux des passagers,
(b) de tout autobus scolaire transportant des enfants,
(c) de tout véhicule transportant des liquides ou gaz inflammables, que ce véhicule soit vide ou non,

qui s'approche d'un passage à niveau doit arrêter son véhicule à 5 mètres au moins et à 15 mètres au plus du rail le plus proche de la voie ferrée. Une fois le véhicule à l'arrêt, le conducteur doit :

(d) regarder dans les deux directions de la voie ferrée pour voir si un train ne s'approche pas,
(e) écouter s'il n'y a pas de signaux indiquant l'approche d'un train,
(f) dans le cas d'un autobus ou d'un autobus scolaire, en ouvrir la portière.

Le conducteur ne doit se remettre en marche que s'il peut le faire en toute sécurité.

135 (2) Traversée de passage à niveau sans changement de vitesse

Sous réserve du paragraphe (4), le conducteur qui s'est arrêté puis se remet en marche conformément au paragraphe (1), doit traverser le passage à niveau en utilisant un rapport de la boîte de vitesses tel qu'il n'a pas besoin de changer de vitesse pendant la traversée, au cours de laquelle il lui est interdit de changer de vitesse.

135 (3) Exceptions au paragraphe (1)

Le paragraphe (1) ne s'applique pas :

(a) lorsqu'un agent de la paix ou un signaleur donne aux véhicules l'ordre de poursuivre leur chemin;
(b) lorsque le passage à niveau est protégé par une barrière ou un feu de signalisation, lesquels ne sont pas en service au moment considéré.

135 (4) Exceptions aux paragraphes (1) et (2)

Les paragraphes (1) et (2) ne s'appliquent pas :

(a) à un passage à niveau de tramway à l'intérieur d'une zone de limitation de vitesse;
(b) à un passage à niveau d'épi industriel à l'intérieur d'une zone de limitation de vitesse.

Ontario

Code de la route, L.R.O. 1990, chap. H-8

Véhicules de transport en commun tenus de s'arrêter à un passage à niveau

174 (1) Lorsqu'il aborde, sur une voie publique, un passage à niveau non protégé par des barrières ou des feux de signalisation, le conducteur d'un véhicule de transport en commun, sauf indication contraire d'un signaleur, fait ce qui suit :

(a) il arrête son véhicule à 5 mètres au moins du rail le plus proche de la voie ferrée;
(b) il regarde dans les deux sens de la voie;
(c) il ouvre une porte du véhicule et écoute pour vérifier si un train approche;
(d) lorsqu'il peut le faire en toute sécurité, il franchit la voie avec son véhicule embrayé de façon à n'avoir pas besoin de changer de vitesse pendant qu'il traverse la voie;
(e) il ne change pas de vitesse pendant qu'il traverse la voie.

(2) Autobus scolaires tenus de s'arrêter à un passage à niveau

Lorsqu'il aborde, sur une voie publique, un passage à niveau protégé ou non par des barrières ou des feux de signalisation, le conducteur d'un autobus scolaire au sens de l'article 175, sauf indication contraire d'un signaleur, fait ce qui suit :

(a) il arrête l'autobus à 5 mètres au moins du rail le plus proche de la voie ferrée;
(b) il regarde dans les deux sens de la voie;
(c) il ouvre une porte de l'autobus et écoute pour vérifier si un train approche;
(d) lorsqu'il peut le faire en toute sécurité, il franchit la voie avec l'autobus embrayé de façon à n'avoir pas besoin de changer de vitesse pendant qu'il traverse la voie;
(e) il ne change pas de vitesse pendant qu'il traverse la voie. 1997, chap. 12, art. 13.

Québec

Code de la sécurité routière, L.R.Q. 2003, ch. C-24.2

Passage à niveau

411. À un passage à niveau, le conducteur d'un véhicule routier ou d'une bicyclette doit immobiliser son véhicule à au moins 5 mètres de la voie ferrée lorsqu'une signalisation, une barrière abaissée ou un employé de chemin de fer signale l'approche d'un véhicule sur rails ou qu'il peut apercevoir ou entendre un tel véhicule qui approche du passage à niveau.
1986, c. 91, a. 411

Restriction

412. Le conducteur d'un véhicule routier ne peut s'engager sur un passage à niveau lorsqu'il n'existe pas devant son véhicule un espace suffisant lui permettant de le traverser entièrement, même si des feux de circulation l'y autorisent.
1986, c. 91, a. 412

Arrêt obligatoire

413. Le conducteur d'un autobus, d'un minibus ou d'un véhicule routier transportant certaines catégories de matières dangereuses déterminées par règlement doit, à tout moment, immobiliser son véhicule à au moins 5 mètres d'un passage à niveau. Il ne peut poursuivre sa route qu'après s'être assuré qu'il peut franchir ce passage sans danger.

Exception

Il est toutefois dispensé de ces obligations aux passages à niveau où une signalisation l'indique.
1986, c. 91, a. 413

Dispense dans certains cas

414. Le ministre des Transports peut, par arrêté publié à la *Gazette officielle du Québec*, désigner certains passages à niveau où le conducteur d'un véhicule routier visé à l'article 413 est dispensé des obligations qui lui sont imposées par cet article.
1986, c. 91, a. 414

Passage à niveau

519.13. Le conducteur d'un véhicule lourd, sauf s'il en est exempté par règlement ou s'il en est dispensé par une signalisation, doit immobiliser son véhicule à au moins 5 mètres d'un passage à niveau et ne poursuivre sa route qu'après s'être assuré qu'il peut franchir ce passage sans danger.

Nouveau-Brunswick

Loi sur les véhicules à moteur, L.R.N.-B. 1986, ch. M-17

Passages à niveau de voies ferrées

182(1) Une personne conduisant un véhicule qui approche d'un passage à niveau de voie ferrée doit arrêter le véhicule à 15 mètres au plus et 5 mètres au moins du rail le plus proche de cette voie ferrée,

(a) lorsqu'un dispositif de signalisation électrique ou mécanique nettement visible, conçu pour avertir de l'approche d'un convoi ferroviaire, émet un signal d'avertissement,

(b) lorsqu'une barrière est baissée ou qu'un signaleur fait ou continue de faire signe de l'approche d'un convoi ferroviaire,

(c) lorsqu'un convoi ferroviaire qui approche d'un passage à niveau et se trouve environ à 500 mètres de celui-ci émet un signal audible à cette distance et que ce convoi ferroviaire, en raison de sa vitesse ou de sa proximité, constitue un danger imminent, ou

(d) lorsqu'un convoi ferroviaire qui approche est nettement visible d'un passage à niveau et se trouve dangereusement près de celui-ci,

182(2) Nul ne doit conduire un véhicule quelconque à travers ou sous une barrière de passage à niveau, ni en la contournant, pendant que cette barrière est fermée ou est en train de s'ouvrir ou de se fermer.

183(1) Les entités suivantes peuvent faire placer des panneaux d'arrêt à des passages à niveau de voie ferrée :

(a) des collectivités locales, dans les limites de leur compétence;

(b) la Société de voirie du Nouveau-Brunswick, à l'égard des passages à niveau de voie ferrée sur les routes sous son administration et son contrôle; et

(c) le Ministre, à l'égard des passages à niveau de voie ferrée sur toutes autres routes, y compris, sans limiter la portée générale de ce qui précède, les passages sous l'administration et le contrôle d'un gérant de projet.

183(2) Nul signal d'arrêt de ce genre ne doit être placé par une collectivité locale sans l'approbation du lieutenant-gouverneur en conseil.

183(3) Le conducteur d'un véhicule qui approche d'un passage à niveau de voie ferrée où un signal d'arrêt a été placé doit arrêter le véhicule à 15 mètres au plus et 5 mètres au moins du rail le plus proche de la voie ferrée et ne doit repartir que lorsqu'il peut le faire sans danger.

184(1) Le conducteur d'un véhicule à moteur transportant des passagers payants, celui d'un autobus ou celui de tout véhicule transportant des substances explosives ou des liquides inflammables comme chargement ou partie d'un chargement, avant de traverser des voies à un passage à niveau de voie ferrée, doit arrêter son véhicule à 15 mètres au plus et 5 mètres au moins du rail le plus proche de cette voie ferrée et, pendant qu'il est ainsi arrêté, doit écouter et regarder, dans les deux sens le long de ces voies, s'il y a un convoi

ferroviaire qui approche et s'il y a des signaux indiquant l'approche d'un tel convoi, et il ne doit repartir que lorsqu'il peut le faire sans danger.

184(1.1) Sous réserve du paragraphe 182(1), le paragraphe (1) ne s'applique pas au conducteur d'un véhicule à moteur transportant des passagers payants, à celui d'un autobus ou à celui de tout véhicule transportant des substances explosives ou des liquides inflammables comme chargement ou partie d'un chargement, avant de traverser des voies à un passage à niveau de voie ferrée muni d'un panneau ferroviaire qui

(a) est installé avant le passage à niveau de voie ferrée de façon à être nettement visible aux conducteurs qui approchent,
(b) porte un symbole représentant un passage à niveau de voie ferrée, et
(c) est équipé de deux feux jaunes qui clignotent alternativement lorsqu'ils sont actionnés à l'approche d'un convoi ferroviaire.

184(2) Après s'être arrêté comme l'exige le paragraphe (1), et en repartant lorsqu'il n'y a plus de danger, le conducteur d'un véhicule de ce genre doit traverser avec ce véhicule embrayé de façon à n'avoir pas besoin de changer de vitesse en traversant le passage à niveau et il ne doit pas changer de vitesse pendant qu'il traverse la ou les voies.

184(3) Il n'est pas nécessaire de s'arrêter à un tel passage à niveau lorsqu'un agent de la police ou un signal de régulation de la circulation indique aux véhicules de circuler.

Terre-Neuve et Labrador

Highway Traffic Act, R.S.N.L. 1990, ch. H-3

[TRADUCTION]
Traversée de voies ferrées

134.(1) Le conducteur

(a) d'un véhicule transportant des passagers payants;
(b) d'un autobus scolaire transportant un ou des enfants;
(c) d'un véhicule transportant des substances explosives ou des liquides inflammables

doit, avant de franchir une voie ferrée, arrêter son véhicule à 5 mètres au moins du rail le plus proche et, à l'arrêt, regarder dans les deux directions de la voie ferrée pour voir si un train s'approche et écouter s'il n'y a pas de signaux indiquant l'approche d'un train, et ne se remettre en marche que s'il peut le faire en toute sécurité.

(2) Lorsqu'un conducteur a arrêté son véhicule (1) et qu'il se remet en marche conformément au paragraphe, il doit traverser le passage à niveau avec son véhicule embrayé de façon à ne pas avoir besoin de changer de vitesse pendant la traversée, et il ne doit pas changer de vitesse pendant la traversée.

(3) Le paragraphe (1) ne s'applique pas lorsqu'un agent de circulation ou un dispositif de signalisation indique de circuler.

(4) Les paragraphes (1) et (2) ne s'appliquent pas aux passages à niveau d'embranchements industriels situés en zone urbaine.

Yukon

Loi sur les véhicules automobiles, R.S.Y. 1986, ch. 11

Passages à niveau

164.(1) Le conducteur qui aborde un passage à niveau arrête son véhicule à au moins 5 mètres du premier rail et ne peut repartir que lorsqu'il peut le faire en toute sécurité parce que le train a dépassé le passage à niveau ou s'est arrêté, dans les cas suivants :

(a) un signal mécanique ou électrique clairement visible annonce l'arrivée d'un train;
(b) une barrière est abaissée ou un signaleur annonce l'arrivée ou le passage d'un train;
(c) un train situé à environ 500 mètres du passage s'approche et, soit est visible, soit fait entendre un signal sonore;
(d) un train est visible, s'approche du passage et en raison de sa vitesse ou de sa proximité constitue un danger immédiat.

(2) À un passage à niveau, il est interdit de conduire un véhicule sous la barrière pendant qu'elle s'abaisse ou se relève ou de la contourner ou de passer en dessous pendant qu'elle est fermée.

(3) Si un signal d'arrêt est placé à un passage à niveau, le conducteur qui l'aborde arrête son véhicule à au moins 5 mètres et au plus 15 mètres du premier rail, et ne peut repartir que lorsqu'il peut le faire en toute sécurité.

(4) Si le passage à niveau n'est pas protégé par un signal de régulation de la circulation, le conducteur d'un autobus scolaire, d'un véhicule qui transporte un chargement de substances explosives ou qui sert à transporter des liquides ou du gaz inflammables, qu'il soit dans ce cas chargé ou non, arrête son véhicule à au moins 5 mètres et au plus 15 mètres du premier rail et :

(a) à l'arrêt, écoute et regarde dans chaque direction afin de s'assurer qu'aucun train n'approche;
(b) ne peut repartir que s'il peut le faire en toute sécurité;
(c) dans le cas d'un autobus scolaire, avant de repartir, ouvre la portière avant et, s'il peut le faire d'une seule main, ouvre aussi la glace la plus rapprochée à sa gauche.

(5) Le paragraphe (4) ne s'applique pas lorsqu'un agent de la paix ou un signaleur donne des instructions au conducteur.

(6) Une municipalité peut, par arrêté, décider que le paragraphe (4) ne s'applique pas à la totalité ou à une partie des passages à niveau qui se trouvent sur son territoire.

(7) Le conducteur qui s'est arrêté en conformité avec le présent article traverse les voies de chemin de fer après avoir embrayé son véhicule dans une vitesse qu'il n'aura pas à changer avant d'avoir traversé les rails et ne peut changer de vitesse pendant qu'il les traverse.

Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut

Motor Vehicles Act, L.R.T.N.-O. 1988, ch. 106

213. Autobus scolaire à un passage à niveau

Le conducteur d'un autobus scolaire qui transporte des élèves et qui s'approche d'un passage à niveau :

a) arrête l'autobus à 5 m au moins du rail le plus proche du passage à niveau;
b) écoute et regarde d'un côté et de l'autre du passage à niveau pour savoir si un train approche.

214. Quand se remettre en marche

Il est interdit au conducteur ayant immobilisé son autobus scolaire en conformité avec l'article 213 :

a) de traverser le passage à niveau à moins qu'il ne puisse le faire en toute sécurité;
b) de s'engager dans le passage à niveau en utilisant un rapport de la boîte de vitesses qui l'obligerait à changer de vitesse;
c) de changer de vitesse pendant la traversée du passage à niveau.

Centre de développement des transports

800, bd. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec)
H3B 1X9

www.tc.gc.ca/tdc/index_f.htm